



**VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ**

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

**FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ**

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

**ÚSTAV AUTOMOBILNÍHO A DOPRAVNÍHO INŽENÝRSTVÍ**

INSTITUTE OF AUTOMOTIVE ENGINEERING

**KONCEPČNÍ ŘEŠENÍ PODVĚSNÉHO DOPRAVNÍKU  
PRO VELKOSÉRIOVOU VÝROBU AUTOMOBILŮ**

CONCEPTUAL DESIGN OF ELECTRONIC OVERHEAD MONORAIL CONVEYOR FOR  
MASS AUTOMOBILE PRODUCTION

**BAKALÁŘSKÁ PRÁCE**

BACHELOR'S THESIS

**AUTOR PRÁCE**

AUTHOR

Filip Králíček

**VEDOUCÍ PRÁCE**

SUPERVISOR

Ing. Jiří Hloska, Ph.D.

BRNO 2019

# Zadání bakalářské práce

Ústav: Ústav automobilního a dopravního inženýrství  
Student: **Filip Králíček**  
Studijní program: Strojírenství  
Studijní obor: Základy strojírenského inženýrství  
Vedoucí práce: **Ing. Jiří Hloska, Ph.D.**  
Akademický rok: 2019/20

Ředitel ústavu Vám vsouhlasí se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma bakalářské práce:

## Koncepční řešení podvěsného dopravníku pro velkosériovou výrobu automobilů

### Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Tvorba návrhu konceptu v podobě layoutu znázorňujícího umístění podvěsného dopravníku, a to včetně návrhu konceptu řízení systému s ohledem na zadané rozměry přepravovaných dílů podstavce 4,0 x 1,4 m a transportní výšku 8,0 m.

### Cíle bakalářské práce:

Layout se znázornění návrhu umístění podvěsného dopravníku v rámci svařovací linky s vyznačením všech uzlů, které jsou důležité z hlediska materiálového a informačního toku. Koncepční návrh dopravníkového okruhu pro dopravu dílů postranic mezi svařovacími linkami včetně návrhu řízení a komunikace mezi řídicími jednotkami závěsů. Počítačový simulační model navrženého uspořádání podvěsného dopravníku. Sestavení matice experimentů a provedení simulačních experimentů s cílem zjistit vhodné hodnoty parametrů dopravníkového okruhu tak, aby podvěsný dopravník nepředstavoval úzké místo.

### Seznam doporučené literatury:

BANGSOW, Steffen. Use cases of discrete event simulation: appliance and research. 1st ed. New York: Springer, 2012, p. cm. ISBN 978-364-2287-763.

BANKS, Jerry, CARSON II, Barry L. NELSON a David M. NICOL. Discrete-event systems simulation. Upper Saddle River, N.J.: Pearson Education, Inc., 2009. ISBN 978-013-8150-372.

BAYER, Johann. Simulation in der Automobilproduktion. Springer, 2003. ISBN 35-404-4192-1.

KÜHN, Wolfgang. Digitale Fabrik. München [u.a.]: Hanser, 2006. ISBN 978-344-6406-193.

NOCHE, Bernd a WENZEL. Marktspiegel Simulationstechnik in Produktion und Logistik. Köln: TÜV Rheinland, 1991. ISBN 38-858-5746-4.

BRACHT, Uwe a Dieter GECKLER. Digitale Fabrik Methoden und Praxisbeispiele: Methoden und Praxisbeispiele. 1. Aufl. Berlin: Springer, 2009. ISBN 978-354-0889-731.

WENZEL, Sigrid a Matthias WEIß. Qualitätskriterien für die Simulation in Produktion und Logistik Planung und Durchführung von Simulationsstudien. Berlin, Heidelberg, 2008. ISBN 978-354-03-2-761.

ZEIGLER, Bernard P. Theory of modelling and simulation. New York: Wiley, c1976, xxii, 435 p. ISBN 04-719-8152-4.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2019/20

V Brně, dne

L. S.

---

prof. Ing. Josef Štětina, Ph.D.

ředitel ústavu

---

doc. Ing. Jaroslav Katolický, Ph.D.

děkan fakulty

## **ABSTRAKT**

Tématem této bakalářské práce je podvěsný dopravník. Práce obsahuje řešení o podvěsných dopravnících, technické zadání pro 3 okruhy a jejich zpracování.

## **KLÍČOVÁ SLOVA**

Podvěsné dopravníky, řetěz, vnější postranice, B-sloupek, C-sloupek, počítačový simulační model, matice experimentů

## **ABSTRACT**

The topic of this thesis is an overhead conveyor. The thesis contains research about overhead conveyors, technical assignment for 3 circuits and their processing.

## **KEYWORDS**

Overhead conveyors, chain, outer siderails, B-column, C-column, computer simulation model, matrix of experiments

## BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

*KRÁLÍČEK, Filip. Koncepční řešení podvěsného dopravníku pro velkosériovou výrobu automobilů [online]. Brno, 2020 [cit. 2020-06-25]. Dostupné z: <https://www.vutbr.cz/studenti/zav-prace/detail/124292>. Bakalářská práce. 49s. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav automobilního a dopravního inženýrství. Vedoucí práce Jiří Hloska.*

## ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že tato práce je mým původním dílem, zpracoval jsem ji samostatně pod vedením Ing. Jiřího Hlosky, Ph.D. a s použitím literatury uvedené v seznamu.

V Brně dne 22. května 2020

.....

Filip Králíček

## PODĚKOVÁNÍ

Za rady a připomínky děkuji Ing. Jiřímu Hloskovi, Ph.D. Za cenné poznatky, rady a strávený čas děkuji celému kolektivu ze společnosti Chropyněská Strojírna a.s. Za podporu při studiu děkuji rodičům Kamile a Radkovi Králíčkovým.

## OBSAH

Úvod .....	10
1 Podvěsné dopravníky .....	11
1.1 Druhy závěsných dopravníků .....	12
1.2 Řetězový dopravník .....	12
1.3 Elektrické závěsné dopravníky .....	13
1.4 Nejmodernější elektrické závěsné dopravníky .....	13
1.5 Hlavní části závěsných dopravníků .....	14
1.6 Vhodné dopravní rychlosti .....	14
2 Technické zadání .....	15
2.1 EHB vnějších postranic .....	15
2.1.1 Požadavky na EHB vnějších postranic .....	15
2.1.2 Informace získané ze zadávacího výkresu vnějších postranic .....	16
2.1.3 Výběr ideální možnosti vedení EHB pro vnější postranice .....	16
2.1.4 Layout pro EHB vnějších postranic .....	18
2.1.5 Funkční popis EHB vnějších postranic .....	19
2.2 EHB B-sloupek + C-sloupek .....	19
2.2.1 Požadavky na EHB vnějších postranic .....	19
2.2.2 Informace získané ze zadávacího výkresu B-sloupků a C-sloupků .....	20
2.2.3 Výběr ideální možnosti vedení EHB pro B-sloupků a C-sloupků .....	20
2.2.4 Volba ideální varianty vedení EHB okruhu pro B-sloupek .....	21
2.2.5 Volba varianty vedení EHB okruhu pro C-sloupek .....	21
2.2.6 Odůvodnění konstrukčního řešení okruhu pro B-sloupek .....	22
2.2.7 Odůvodnění konstrukčního řešení okruhu pro C-sloupek .....	23
2.2.8 Funkční popis EHB okruhu pro B-sloupek .....	23
2.2.9 Funkční popis EHB okruhu pro C-sloupek .....	23
2.3 Popis komponentů .....	24
2.3.1 Malý/velký nosník .....	24
2.3.2 Zvedák .....	24
2.3.3 Přesuvna .....	25
2.3.4 Otoč .....	25
2.3.5 Závěs .....	26
3 Počítačový simulační model .....	27
3.1 3D model okruhu pro vnější postranice .....	27
3.2 3D model okruhu pro B-sloupky .....	28
3.3 3D model okruhu pro C-sloupky .....	29



4	Matice experimentů .....	31
4.1	Matice experimentů pro okruh vnějších postranic .....	31
4.1.1	Volba počtu závěsů pro okruh vnějších postranic .....	35
4.1.2	Závěr pro okruh vnějších postranic .....	36
4.2	Matice experimentů pro okruh B-sloupků .....	37
4.2.1	Volba počtu závěsů pro okruh B-sloupků .....	40
4.2.2	Závěr pro okruh B-sloupků .....	41
4.3	Matice experimentů pro okruh C-sloupků .....	41
4.3.1	Volba počtu závěsů pro okruh C-sloupků .....	45
4.3.2	Závěr pro okruh C-sloupků .....	46
	Závěr .....	47
	Seznam použitých zkratk a symbolů .....	49

## Úvod

Zdokonalení výrobních zařízení a technologií není pouze předmět ke zvýšení technické úrovně výroby. Jedním z důležitých předmětů k řešení je mechanizace vedlejších apomocných prací – manipulace s materiálem. [1]

Nárůst úrovně výroby je ovšem spjatý ruku v ruce s neustálým zvyšováním nároků na spotřebu materiálu. Materiál se však dopravoval ve většině společnostech stále stejným způsobem, a to na stejných dřevěných paletách. Tím vznikal nepoměr mezi dopravou a výrobou, jelikož starými metodami (na dřevěných paletách) dopravováním materiálu nešlo zaručit plynulý přísun materiálu k výrobním strojům. Materiál byl proto dopravován stále ve větších a větších dávkách na pracoviště. Důsledkem toho byla kumulace materiálu na výrobních místech a tím pádem se z nich stávaly místa připomínající mezisklady. Skutečné pracovní plochy se zmenšovaly, výroba se stávala nepřehlednou. [2]

Taková skutečnost byla při určité výrobní kapacitě neúnosná a způsobovala zpomalování, dokonce i zastavení dalšího možného zvýšení produkce. Proto vznikla potřeba zmodernizovat přísun materiálu tak, aby nepředstavoval úzké místo ve výrobě. [2]

Moderní přísun materiálu pro souvislou a hromadnou výrobu spočívá v pravidelné dodávce malého množství materiálů nebo jednotlivých kusů na pracoviště tak, aby zde nedocházelo k jeho naskladňování. Při správné organizaci výroby jsou jednotlivé výrobní stroje, roboty a zařízení uzpůsobeny k tomu, aby se zde daný výrobní předmět nacházel co možná nejkratší dobu, a poté putoval dále k následující výrobní operaci. Tyto všechny zmíněné faktory dopomáhají ke zlepšení výroby, kvality výrobků a pracovního prostředí. [2]

V této práci se zabývám způsobem dopravy materiálu, či dílců na pracoviště. Detailně popisuji jeden z technických řešení – přepravu pomocí podvěsných dopravníků. V navazujících kapitolách se uvádí konkrétní příklad přepravy vnějších postranic, B-sloupků a C-sloupků pomocí podvěsných dopravníků. Následuje popis simulačního modelu těchto systémů.

# 1 PODVĚSNÉ DOPRAVNÍKY

Podmínky moderního způsobu dopravy materiálu splňují podvěsné dopravníky, které přepravují materiál nad úrovní podlahy a objevují se tím v jinak nevyužitých prostorech nad pracovištěm. Tyto dopravníky přepravují materiál v uzavřeném okruhu, nebo jsou součástí výrobní linky, tvořící jednotlivý úsek okruhu dopravníku. Závěsné dopravníky jsou schopny překonávat výškové rozdíly, obcházet překážky (např. sloupy) v prostoru, podcházet překlady ale i překonávat ohrazení mezi jednotlivými pracovišti. Dopravování materiálu závěsem nevyžaduje žádné nároky na podlahové plochy, a umožňují přemístění materiálu i napříč vybudovaných dopravních cest. [2]

Podvěsné dopravníky jsou určeny k vnitrozávodové dopravě, jako prosté dopravníky (jen za účelem dopravy materiálu či dílů) i technologické (za účelem vykonání výrobní operace), a to manipulační, skladové, montážní ale i mezioperační. Prosté dopravníky se uplatní zejména při dopravních výkonech, které jsou obtížně proveditelné plošnými závěsy. Závěsné dopravníky si našly největší uplatnění v technologické oblasti, obzvláště při povrchových úpravách dílů (máčení, lakování, sušení, ale i chlazení).[2]

Jsou zkonstruovány tak, aby se dílec či materiál pohyboval vždy nejtišším, nejúčinnějším a nejčistějším způsobem. [8]

Ačkoliv funkce a účel závěsného dopravníku jsou velmi prosté, tak jeho konstrukční řešení bývá často velmi složité a zdlouhavé. Musí se totiž podřídit negativním vlivům a to v podobě provozních případů, které se často liší nejen průběhem dráhy a prostorovým okolností, ale i rozměrem a hmotností dopravovaných dílů. [2]

V podstatě jde o seskládání jednotlivých modulů, umožňující sestavení dané dráhy splňující podmínky, které jsou dány technologií výroby. Dopravníkovou dráhu branou jako celek nelze obvykle použít v jiných případech, ale lze použít jednotlivé stavebnicové díly k sestavení jiné dráhy. A to díky použití typizovaných parametrů jednotlivých částí dráhy. [2]

Podmínkou úspěchu daného dopravníku je vyřešení všech předcházejících i navazujících manipulací. Nebude-li vyřešena návaznost dopravníku a to zejména automatizovaná nakládka a vykládka, nemůže se očekávat konstantní doba mezi průjezdy po sobě následujících závěsů dopravníku celého dopravníku. Dopravník totiž nejen že přehledně organizuje práci, ale také jí sám vyžaduje. Nelze totiž nakládat na závěsy cokoliv, každý okruh dopravníku je přizpůsoben na přepravu určitého druhu materiálu či dílců. Proto se dnes podvěsné dopravníky instalují zejména do výrobních hal, kde jsou jasně dané provozní podmínky. [2]



*Obr. 1- EHB postranic [3]*

### 1.1 DRUHY ZÁVĚSNÝCH DOPRAVNÍKŮ

Název dopravník je souhrnné pojmenování pro dosud samostatně nepohyblivé zařízení určené k dopravování materiálu a dílů pomocí mechanického pohonu na nosné konstrukci. Skládá se z pohyblivých částí (vozíků), které udělují nucený pohyb dílcům a již zmíněné nosné konstrukce. [1]

### 1.2 ŘETĚZOVÝ DOPRAVNÍK

První závěsné dopravníky byly řetězového typu. Řetěz měl záchytné body, klapky a zobáčky a tím posouval závěsy. Byl veden pod osou profilu pomocí nosných a vodících jezdců. Takový závěsný dopravník se nazývá podvěsný. Nebo byl veden uvnitř profilu dráhy pomocí kladiček a říká se mu prostorový dopravník. Mají jednoduché závěsy, jednoduché řízení, ale komplikovanou opravu. Když se roztrhne řetěz, celý okruh se zastaví.



*Obr. 2 Řetězový dopravník [7]*

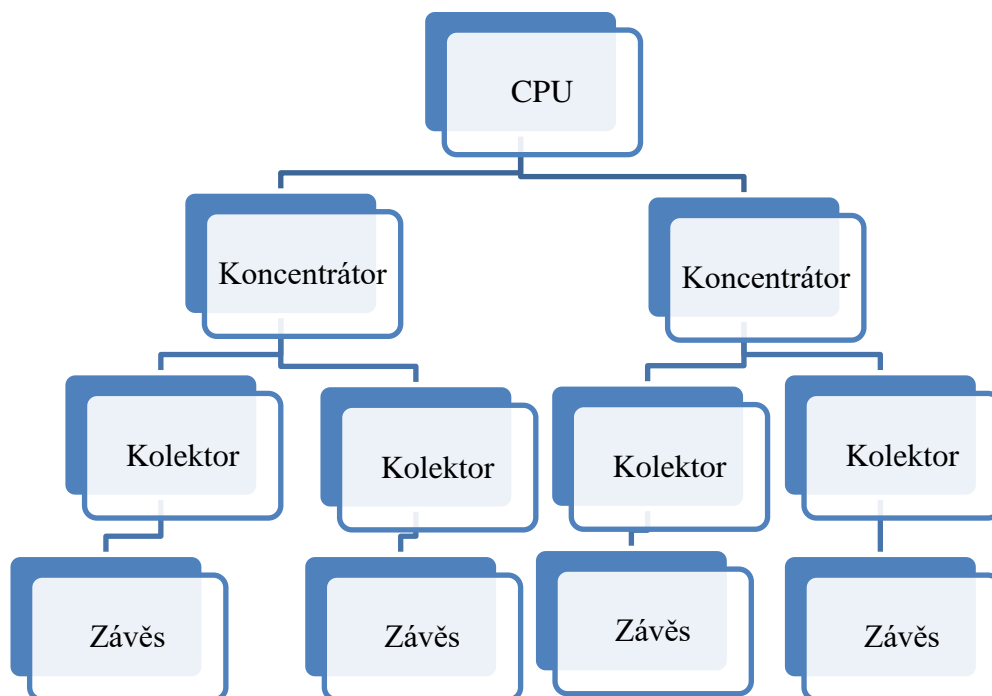
### 1.3 ELEKTRICKÉ ZÁVĚSNÉ DOPRAVNÍKY

Nástupcem řetězového dopravníku se staly jednoduché elektrické závěsné dopravníky, kde každý zavěšený závěs má svůj motor, Z-řez (řezy kolejnice) a je ovládán pomocí pulzní kódové modulace (PCM). Z-řezy zajišťují rozestupy a obsazení pozice, aby stavěly jeden za druhým a nedošlo ke srážce. Při použití pulzní modulace se využívá střídavé napětí – kladná/záporná půl vlna, případně modulace půl vlny. Každá modulace znamená jeden povel a je buď kladná, záporná, žádná nebo celá vlna. Což znamená 4 různé rychlosti.

### 1.4 NEJMODERNĚJŠÍ ELEKTRICKÉ ZÁVĚSNÉ DOPRAVNÍKY

V dnešní době nejmodernější závěsné dopravníky EHB – Elektrohängerbahn jsou elektrické dopravníky, které mají svůj motor a svou vlastní řídicí jednotku. Centrální procesorová jednotka – CPU má pod sebou podřízené koncentrátoři dat. Tyto koncentrátoři jsou omezeny určitým počtem závěsů nebo délkou úseku. To zaručuje snadné rozšíření nebo přestavbu dráhy, a to v podobě přidání nebo odebrání těchto koncentrátorů dat na rozšířené úseky.

Časová odezva nikdy nepředstavuje problém, jelikož data z kolektorů (každý závěs má svůj kolektor dat) se rozdělí mezi koncentrátoři. K přesnému určení polohy, slouží čtečka kódové lišty, nebo lišty s čárovým kódem. Ta posílá data do kolektoru a díky tomu se jasně a přesně určí, kde se daný závěs nachází. Každý jednotlivý čárový kód označuje přesnou pozici na celé trati. V praxi to vypadá tak, že např. na kódové liště jsou jednotlivé kódy vzdáleny od sebe 1.6 mm.



Obr. 3 Systémová návaznost [Zdroj vlastní]

## 1.5 HLAVNÍ ČÁSTI ZÁVĚSNÝCH DOPRAVNÍKŮ

Závěsné dopravníky jsou složeny primárně z těchto částí:

*Nosná konstrukce* – na ní je zavěšena dráha dopravníku a nese její váhu společně s váhou dílů či materiálu. Je sestavena ze *stropních závěsů*, *podpěr*, *konzol sloupů*, *příchytek* a dalších potřebných dílů. Nejčastěji kotvena ke střešní konstrukci.

*Dráha dopravníku* – je smontována nejčastěji z dílců profilu „I“. Skládá se z *rovných úseků a oblouků*.

*Řetězová dráha* – je použita za účelem nesení a vedení řetězu opatřeného vodícími kolečky.

*Jezdec* – používá se za účelem vedení řetězu a stává se jeho nezbytnou součástí.

*Závěsová dráha* – používá se u dvou dráhových dopravníků k nesení a vedení závěsných závěsů.

*Sdružená dráha* – vznikne spojením dráhy řetězové a závěsové, které drží pospolu díky třmenům nebo výztuhami.

*Hnací jednotka* – hnací zařízení umístěné na závěsu nebo na nosné konstrukci

*Ochranná síť* – je zřízena pod celým dopravníkem, nebo jenom v místech kde dopravník překračuje komunikaci. A slouží jako záchytné místo padajícího materiálu z dopravníku. Dále také k pohybu osob údržby. [2]

## 1.6 VHODNÉ DOPRAVNÍ RYCHLOSTI

Rychlost závěsných dopravníků je vždy nižší, než rychlost chůze, takže pro dopravu osob tento typ dopravníku nepřipadá v úvahu. Rychlost je většinou udává v m/min a pokud není nijak zvláště vyžadována její změna, tak se volí z této vybrané řady: [2]

Tab. 1 Rychlosti závěsných dopravníků po rovině [2]

<b>0,2</b>	0,32	<b>0,5</b>	0,8	<b>1,0</b>	1,25	<b>1,6</b>	2,0	<b>2,5</b>	3,15
<b>4,0</b>	5,0	<b>6,3</b>	8,0	<b>10,0</b>	12,5	<b>16,0</b>	20,0	<b>25,0</b>	32,5

,přičemž ztučněné hodnoty bývají doporučené a dosahují hodnoty až 42 m/min.

U dopravníků určených například k povrchovým úpravám, montáži, atd. se volí rychlost co nejnižší, obvykle okolo 6,3 m/min. Čím nižší rychlost, tím méně prostoru zabírají jednotlivá pracoviště (při určité délce operace) a tím menší bývá rozestup mezi jednotlivými závěsy s dílci, či předměty. V zatáčkách a při stoupání nebo klesání dráhy je rychlost nižší.[2]

## 2 TECHNICKÉ ZADÁNÍ

Navrhňte 3 elektrické podvěsné dopravníky (EHB) na přepravu:

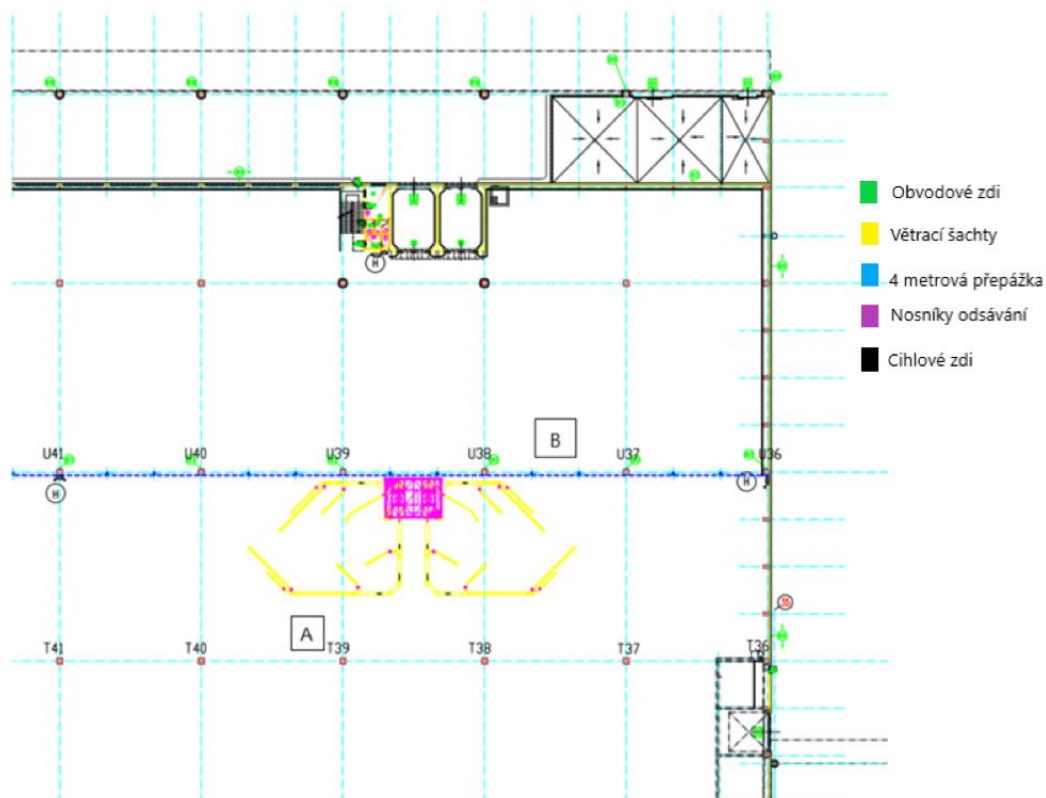
- 1) Postranice vnější SK 280  
Hmotnost: cca 2x25 kg  
Takt: 60 s
- 2) B – sloupek SK 280  
Hmotnost: cca 15 kg  
Takt: 30 s
- 3) C – sloupek Sk 280  
Hmotnost: cca 15 kg  
Takt: 60 s

Nový dopravníkový systém EHB bude instalován do svařovací haly X. Dopravníky budou převážet vnější postranice, B-sloupek, C-sloupek typu SK280. Naložení i vyložení bude prováděno robotem a bude se jednat o 3 samostatné, na sobě nezávisající dopravníky.

### 2.1 EHB VNĚJŠÍCH POSTRANIC

#### 2.1.1 POŽADAVKY NA EHB VNĚJŠÍCH POSTRANIC

Navrhňte elektrický podvěsný dopravník, vedený z místa A do místa B (Obr. 4-6) v provozní výšce 8 metrů. Místa A a B představují pozice pro 2 roboty, provádějící nakládku a vykládku. Dopravníkový systém bude dopravovat díly z linky postranic (A) do svařovací linky (B). Obě postranice budou převáženy zároveň, na oboustranném univerzálním závěsu.



Obr. 4 Zadávací náčrty haly s vyznačenými místy pro nakládku a vykládku vnějších postranic [5]

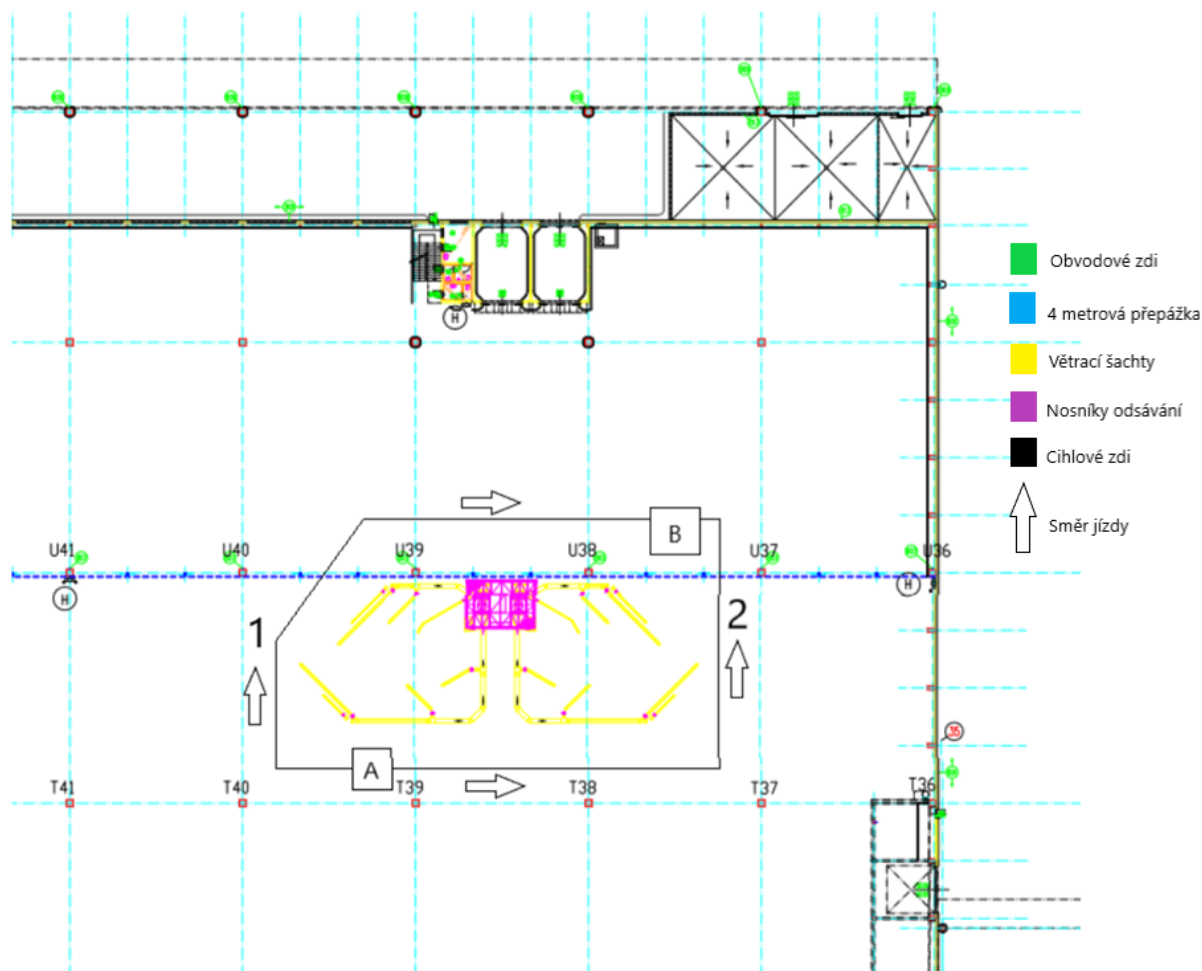
### 2.1.2 INFORMACE ZÍSKANÉ ZE ZADÁVACÍHO VÝKRESU VNĚJŠÍCH POSTRANIC

- 1) Jasně daná místa, odkud se musí dílce přepravit (místo A) a kam (místo B).
- 2) Překážky, kterým se musíme vyhnout:
  - a) Větrací šachty (odsávání) – v náčrtu vyznačeny žlutou barvou
  - b) Nosná konstrukce větracích šachet – v náčrtu vyznačeno růžovou barvou
  - c) Nosné sloupky celé haly – v náčrtu vyznačeny červenými čtverci, označenými U41 – U36, T41 – T36, atd.
- 3) Zeď oddělující jednotlivá pracoviště – v náčrtu vyznačena modrou barvou, představuje pouze vizuální oddělení a sahá do výšky 2,5 metrů. Což pro nás nepředstavuje žádný problém a můžeme jí zcela ignorovat

### 2.1.3 VÝBĚR IDEÁLNÍ MOŽNOSTI VEDENÍ EHB PRO VNĚJŠÍ POSTRANICE

Nejprve je potřeba si nastínit reálné možnosti vedení EHB. Jelikož v praxi na to bývá předem stanovený finanční obnos, tak se snažíme, aby námi navržená trať vedla co nejkratší možnou cestou. Čím kratší cesta, tím menší budou náklady na její výstavbu a také z hlediska hospodárnosti s místem. Samozřejmě musí dodržet veškeré požadavky od zadavatele, a tak přichází v úvahu 2 možné varianty. V Obr. 5 očíslovány číslicemi 1 a 2.



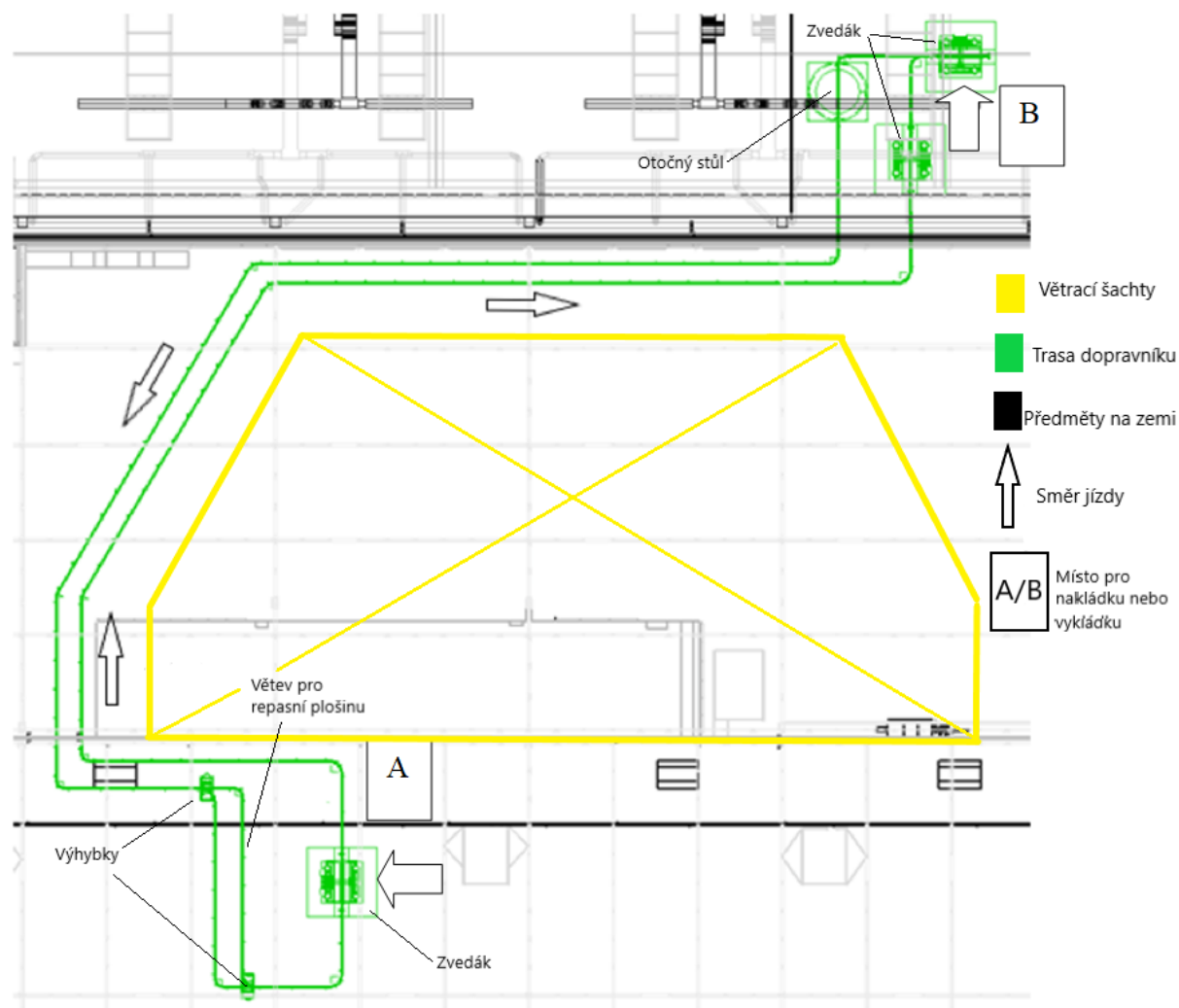


Obr. 5 Výkres s nastíněnými variantami vedení EHB pro vnější postranice [Zdroj vlastní]

Na první pohled se zdá přijatelnější varianta 2. Skládá se totiž z více rovných, ucelených úseků, které jsou pro EHB nejvhodnější. Při představení si okruhu, je zřejmé, že bude zapotřebí vést minimálně 2 tratě. Jedna pro pohyb plných závěsů s dílci směřující k místu B a druhá pro pohyb prázdných závěsů, směřující k místu nakládky - A. Dále zvedáky (může jich být i více), které nám vyvezou závěsy do požadované výšky. A další prvky, například výhybky, otočné stoly, atd.

Zvedáky by měly být umístěny v místě, kde končí/začíná trať. Jinak řečeno v místech, ve kterých si námi převážené dílce převezme robot. Tím pádem by nám mohl vzniknout problém s místem, jelikož nám překáží nosný sloup s označením U37. V současnosti nepracujeme s přesnými rozměry, tudíž se jedná o domněnku, ale je zapotřebí určitý „inženýrský cit“. Tento problém by se samozřejmě dal vyřešit protažením rovného úseku směrem nahoru, či doprava. To by ale znamenalo vyšší cenu, za kterou bychom dopravník dokázali sestavit. Varianta 1 žádný takový podobný problém s místem nepředstavuje.

Volím tedy variantu 1. Výsledný layout bude mít tuto podobu.



Obr. 6 Layout EHB vnějších postranic [Zdroj vlastní]

#### 2.1.4 LAYOUT PRO EHB VNĚJŠÍCH POSTRANIC

Při sestavení koncepčního návrhu jsem se držel výchozí struktury, kterou jsme si určili o krok výše. Z funkčního hlediska byla potřeba přidat další prvky:

- 1) *Použití dvou zvedáků v místě vyložení* – toto řešení jsem použil z důvodu nemožného vyložení obou dílů postranic najednou ve chvíli, kdy je závěs na zvedáku. Mezi bočnicí směřující ke zvedáku a zvedákem není dostatek místa pro vytočení ramene robotu. Z tohoto důvodu jsem zvolil druhý zvedák, jelikož do něj přijede závěs opačnou stranou, než to bylo u prvního zvedáku. V prvním zvedáku je odebrána ze závěsu jedna bočnice, ve druhém zvedáku je odebrána druhá, zbývající bočnice.
- 2) *Otočný stůl (otoč)* – toto zařízení je v naší situaci nutností. Závěs po výjezdu z druhého zvedáku je otočený o 180°, což je problém pro následné opětovné naložení bočnic na univerzální držák. Zkrátka by tam nepasovaly. Proto je potřeba otočit závěs správným směrem.
- 3) *Výhybka a repasní větev* – slouží pro repasní plošinu. Aby při opravě, kontrole či vyřazení závěsu z okruhu nemusela zastavit celá linka. Závěs se pošle do této větve, která je navíc, a jsou zde prováděny potřebné úkony na závěsu. Je možnost

snadného opětovného vrácení do celého okruhu dopravníku. V případě potřeby je zde i možnost využít tuto větev jako čekací prostor pro prázdné závěsy.

### **2.1.5 FUNKČNÍ POPIS EHB VNĚJŠÍCH POSTRANIC**

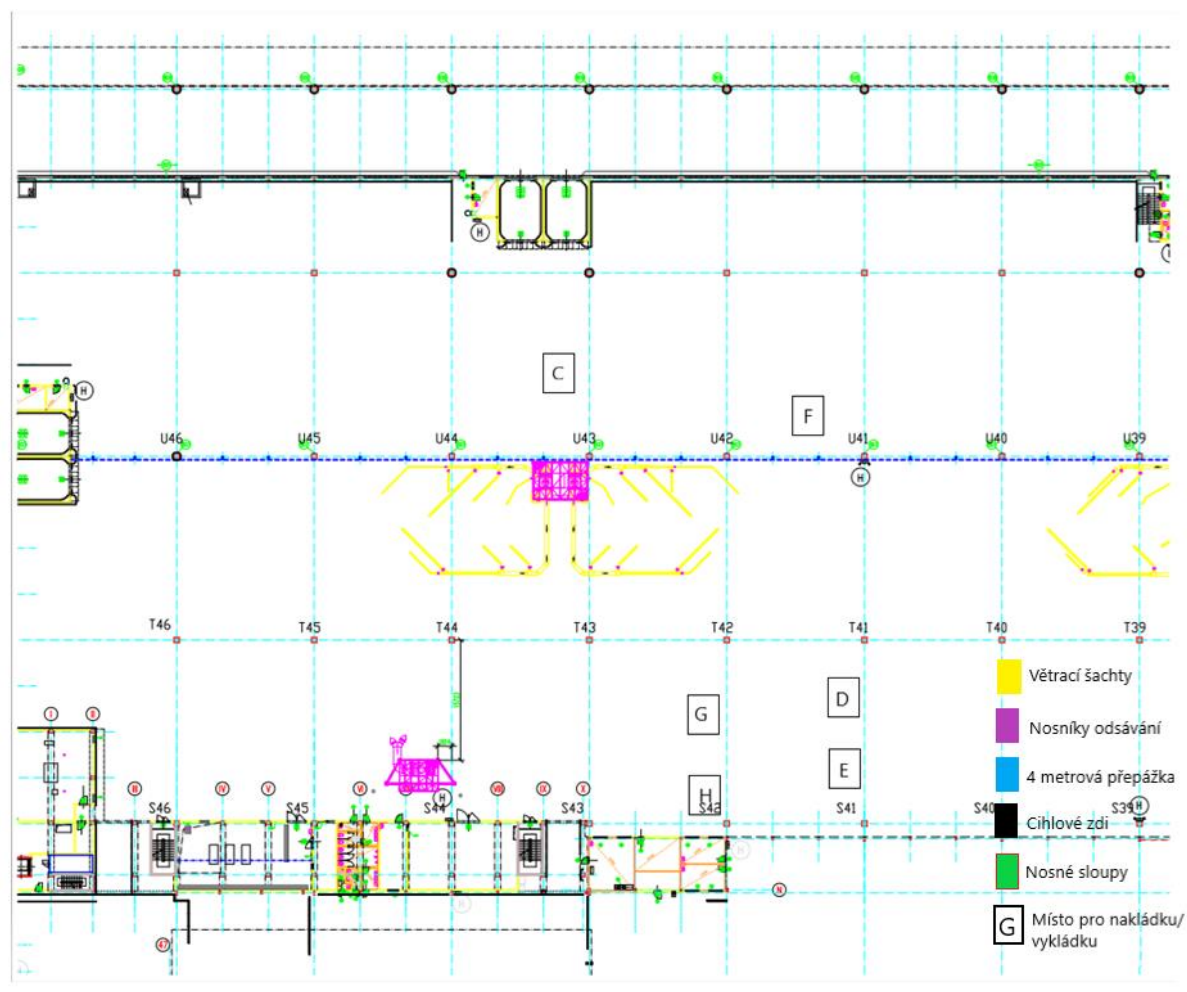
Zvedák nejprve sjede s prázdným závěsem na úroveň cca 4 metrů, kde jsou naloženy obě dvě postranice, to je možné díky využití většího a prostornějšího zvedáku. Po naložení postranic zvedák vyveze závěs do úrovně transportní výšky – cca 8 metrů nad zemí a závěs odjíždí k místu vyložení. Před místem odebrání (B) dojde ke snížení transportní výšky pomocí zvedáku na výšku cca 4 metrů a vyložení jedné z bočnic. V této výšce vjede závěs do zvedáku B. Dojde k odebrání druhé postranice a prázdný závěs je vyzdvižen do transportní výšky cca 8 metrů. Po vyjetí zvedáku (couváním) přijede závěs na otočný stůl, kde se otočí a pokračuje k místu nabírání A. [6]

## **2.2 EHB B-SLOUPEK + C-SLOUPEK**

### **2.2.1 POŽADAVKY NA EHB VNĚJŠÍCH POSTRANIC**

Navrhněte 2 okruhy elektrických podvěsných dopravníků, sloužící k převozu B-sloupků a C-sloupků. Dopravníky budou propojovat linku B-sloupků (D.E), s linkou vnitřních postranic (C) a linku C-sloupku (F) (nakládat z pravé strany), s linkou vnitřních postranic (G, H). Samostatně přepravte pravý nebo levý B-sloupek na univerzálním závěsu. To stejné platí pro C-sloupek. Okruhy ved'te ve výšce cca 8 metrů.

V místech nakládky a vykládky je nutná součinnost výrobce dráhy se zadavatelem nebo zprostředkovatelem technologie. To je z důvodu prověření světélkové výšky a dosahu robotů.



Obr. 7 Zadávací náčrtek haly s místy pro nakládku a vykládku B-sloupků a C-sloupků [zdroj vlastní]

## 2.2.2 INFORMACE ZÍSKANÉ ZE ZADÁVACÍHO VÝKRESU B-SLOUPKŮ A C-SLOUPKŮ

- 1) Jasně daná místa, odkud se musí dílce přepravit (místa D.E a F) a kam (místo G, H a C)
- 2) Překážky, kterým se musíme vyhnout:
  - a) Větrací šachty (odsávání) – v náčrsku vyznačeny žlutou barvou
  - b) Nosná konstrukce větracích šachet – v náčrsku vyznačena růžovou barvou
  - c) Nosné sloupy celé haly – v náčrsku vyznačeny červenými čtverci, označenými U46 – U39, T46 – T39, S46 – S39, atd.
  - d) Zdi budovy – v náčrsku vyznačeny černou barvou
- 3) Zeď oddělující jednotlivá pracoviště – v náčrsku vyznačena modrou barvou, představuje pouze vizuální oddělení a sahá do výšky 4m. Což pro nás nepředstavuje žádný problém a můžeme jí zcela ignorovat.

## 2.2.3 VÝBĚR IDEÁLNÍ MOŽNOSTI VEDENÍ EHB PRO B-SLOUPKŮ A C-SLOUPKŮ

Nejprve je potřeba, stejně jako u předešlého podvěsného dopravníku, si nastínit všechny možnosti vedení EHB. Opět máme snahu nalézt řešení tratě takové, co možná nejkratší z finančních důvodů a také z hlediska hospodárnosti s místem. Samozřejmě musí dodržet veškeré požadavky od zadavatele.



Obr. 8 Výkres s variantami vedení EHB pro B-sloupek (černá) a C-sloupek (červená) [Zdroj vlastní]

## 2.2.4 VOLBA IDEÁLNÍ VARIANTY VEDENÍ EHB OKRUHU PRO B-SLOUPKU

Nejprve se zaměříme na linku pro dopravu B-sloupku (černě vyznačena). Máme tu dvě nejjednodušší a nejkratší varianty. Varianta 2 je na první pohled delší, ale představuje jistější variantu z toho pohledu, že při detailnějším návrhu nedojde ke kolizi s nosnými sloupky budovy. Varianta 1 je kratší, ale je vedena poměrně blízko nosných sloupů. Vzniká zde tedy riziko, že by mohlo dojít ke kolizi s nimi.

Tento problém lze ale jednoduše vyřešit potřebným zkrácením prvního rovného úseku natolik, aby nedošlo ke kolizi s nimi. Zároveň můžeme využít tyto nosné sloupky, okolo kterých povede naše trať, k ukotvení nosné konstrukce. Ukotvení k nosným sloupům je totiž snazší a cenově výhodnější, než kotvení nosné konstrukce ke střeše haly, má ovšem vliv na statiku haly. Zde je zapotřebí mít k dispozici data haly a možnost ukotvení doložit statickým výpočtem.

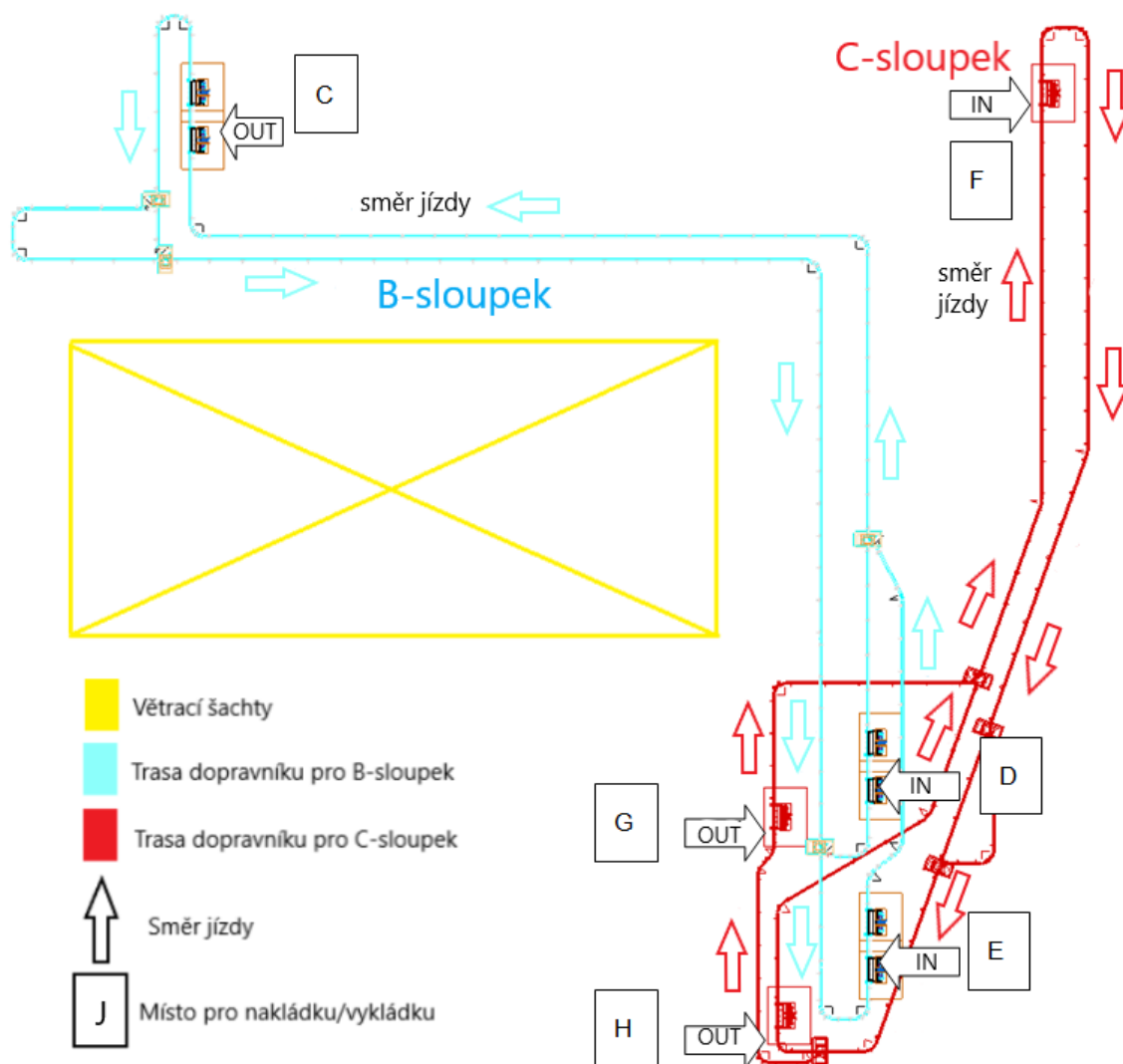
**Z těchto důvodů volím pro okruh EHB B-postranic variantu 1.**

## 2.2.5 VOLBA VARIANTY VEDENÍ EHB OKRUHU PRO C-SLOUPKU

Opět zde máme nejednu variantu. Nejprve se zaměříme na variantu 2. Tato varianta představuje nejjednodušší cestu vedení. Neobsahuje žádné zbytečné oblouky, povede podél nosných sloupů, které lze využít ke kotvení. Má však značnou nevýhodu oproti variantě 1. je

zbytečně dlouhá. Variantou 1 ušetříme na materiálu při stavbě okruhu, zkrátí se celkový čas na projetí celkového okruhu jedním závěsem a má šetrnější hospodaření s místem.

Proto opět volím pro okruh EHB C-sloupku variantu 1. Výsledné layouty budou mít tuto podobu.



Obr. 9 Layout EHB pro B-sloupek a C-sloupek [Zdroj vlastní]

## 2.2.6 ODŮVODNĚNÍ KONSTRUKČNÍHO ŘEŠENÍ OKRUHU PRO B-SLOUPEK

Bylo požadováno naložení B-postranic ze země – tzn. téměř z nulové výšky a provozní výšku jsme si stanovili 7 metrů. 7 metrů z důvodu křížení obou tratí. Odchýlili jsme se od požadované výšky 8 metrů jedním okruhem o 1 metr nahoru, druhým okruhem o 1 metr dolů.

Z důvodu velmi nízkého taktu jsme byli nuceni vložit na každé nakládací a vykládací místo 2 zvedáky. Tyto zvedáky budou pracovat vždy současně. Tím se zaručí nakládka a vykládka 2 při jednom sjetí zvedáku.

Za dvojicí zvedáku sloužící k vykládce byla přidána větev pro repasní plošinu.



### 2.2.7 ODŮVODNĚNÍ KONSTRUKČNÍHO ŘEŠENÍ OKRUHU PRO C-SLOUPEK

Nakládka C-sloupku bude prováděna robotem z výšky 4 metrů. Zde již není možno využít zvedáků od zadavatele z důvodu nedosažení zvedáku do požadované výšky 9 metrů. Proto bude potřeba zakoupení 3 zvedáků s vyšším dosahem a jejich zakomponování do okruhu.

Podobně jako u okruhu pro B-sloupek, i zde byla zřízena výhybka na dvě větve trati opět z důvodu rozřazení pravých a levých C-sloupků. Do vykládací stanice G bude přijíždět jeden typ C-sloupku a do stanice H bude přijíždět druhý typ c-sloupku. Po vyložení C-sloupku se tyto 2 větve s prázdnými závěsy opět spojí do jedné.

Na závěr je nezbytné umístění repasní plošiny do celého okruhu kvůli údržbě, opravě či vyřazení prázdných závěsů. Tento problém byl vyřešen jednoduchým rozdělením kolejnice na předposledním rovném úseku. Tento rozdvojený úsek nemá zapotřebí mít velkou vzdálenost, proto jeho délka se bude odvíjet od délky repasní plošiny a potřebného napojení zpět do jedné kolejnice.

### 2.2.8 FUNKČNÍ POPIS EHB OKRUHU PRO B-SLOUPKY

Modře znázorněný dopravníkový systém na přepravu B-sloupku bude dopravovat díly z linky B-sloupku (D, E) do linky vnitřních postranic (C). Bude přepravovat vždy samostatný levý nebo pravý B-sloupek. Transportní výška bude cca 7 metrů.

Dvojice prázdný závěsů sjede z transportní úrovně na jedné z dvojici zvedáku do nabírací úrovně cca 4 metrů. Dojde k naložení 2 B-sloupku a odjezdu do transportní výšky. Závěs pak pokračuje k místu vyložení. Odebrání proběhne analogicky k nabírání. [6]

### 2.2.9 FUNKČNÍ POPIS EHB OKRUHU PRO C-SLOUPKY

Červeně znázorněný dopravníkový systém bude propojovat linku C-sloupku (F) a linku vnitřních postranic (G, H). Bude samostatně přepravován pravý nebo levý C-sloupek na univerzálním závěsu. Transportní úroveň bude cca 9 m.

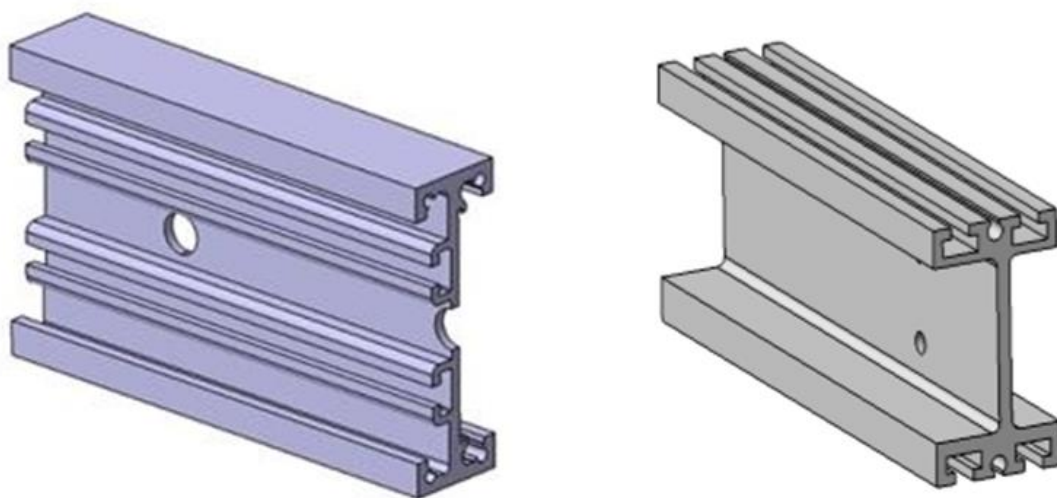
Prázdný závěs sjede z transportní úrovně zvedákem F do nabírací úrovně cca 4 m. Dojde k naložení C-sloupku a odjezdu do transportní výšky. Závěs pak pokračuje k místu vyložení. V místě výhybky dojde k rozřazení pravého a levého C-sloupku. Pravý C-sloupek pokračuje například ke zvedáku G a levý k H. Odebrání proběhne analogicky k nabírání. Poté se trasy s prázdnými závěsy sloučí a vracejí se k místu nabírání. [6]

## 2.3 POPIS KOMPONENTŮ

### 2.3.1 MALÝ/VELKÝ NOSNÍK

V dnešní době je nejpoužívanější nosník profilu „I“ s následujícími rozměry: 240x80, 180x60, 134x80 mm, přičemž typ profilu o rozměru 180x60 je nazýván jako „malý profil“. Používá se pro přepravu dílů do 500 kg. Pro přepravu dílu těžších než 500 kg, se používá „velký profil“ o rozměrech 240x80 mm. [3]

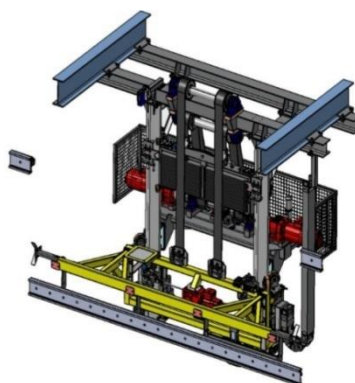
Materiály na výrobu se používají slitiny oceli nebo hliníku. [3]



Obr. 10 Nosník „I“ profilu [3]

### 2.3.2 ZVEDÁK

Zvedáky jsou počítačově řízené. Standardně bývají vybaveny bezpečnostními zámky pro dosažení přesné pozice při zvedání nebo spouštění. Pozice také bývá určována laserovými čidly. Hlavní motor bývá umístěn v zadní části pro snadný přístup. Z bezpečnostních důvodů musí být oplocen.

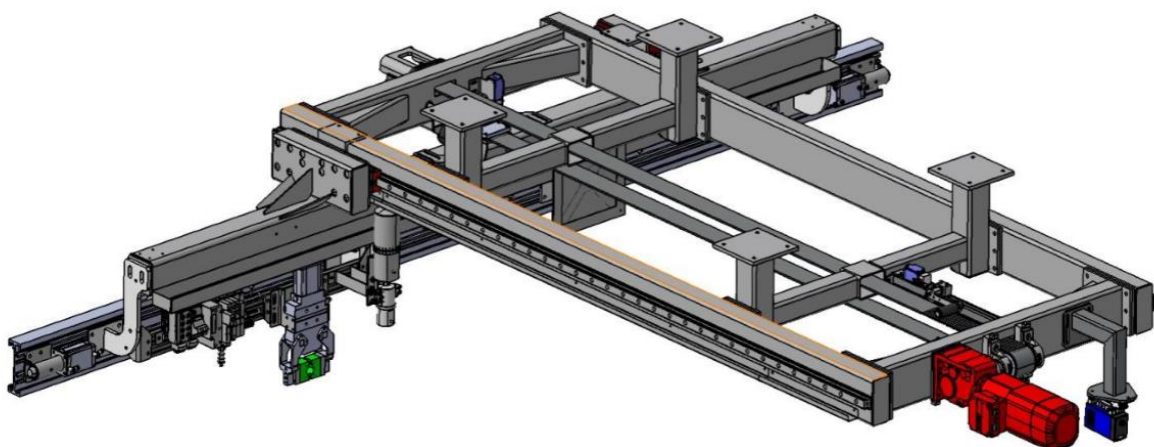


Obr. 11 Zvedák [3]



### 2.3.3 PŘESUVNA

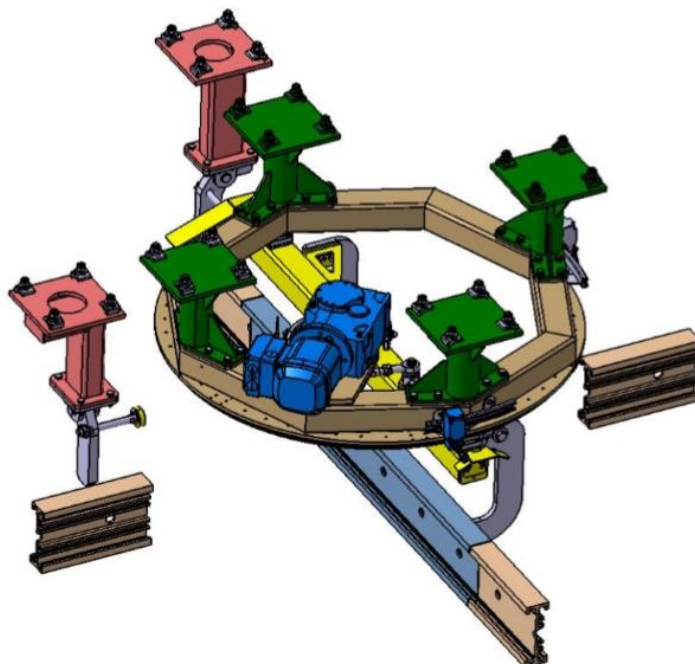
Přesuvny jsou řízeny pomocí CPU. Vyskytují se v místech křížení dvou nebo více drah. Pozice je kontrolována pomocí laserových snímačů. Je samo-mazná, přejezdová rychlost je variabilní, stejně tak jako její délka a šířka. [4]



Obr. 12 Přesuvna [3]

### 2.3.4 OTOČ

Jsou taktéž řízeny pomocí CPU. Nacházejí se v místech křížení drah. Na rozdíl od přesuvny, otoče jsou schopné otočit závěsem s dílcem až o 360°. [3]



Obr. 13 Otoč [4]

### 2.3.5 ZÁVĚS

Má svůj samostatný motor. Tyto motory dodávají například firmy SEW nebo Lenze. Na přední a zadní části závěsu jsou umístěny bezpečnostní senzory chránící závěs před kolizí. Dosahují rychlostí až 60 m/min.



*Obr. 14 Závěs pro přepravu jednotlivých dílů [4]*



*Obr. 15 Závěs pro přepravu celé karoserie [4]*

Na Obr. 15 je stranově naklápěcí zvedák pro celé auto. Bývá umístěn na finální montáži. Je zkonstruován k práci na podvozku.

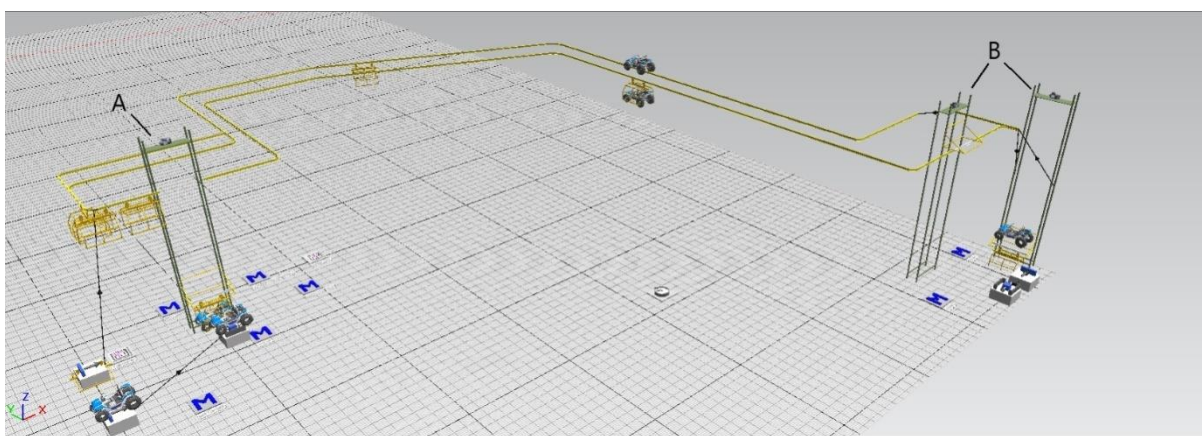
### 3 POČÍTAČOVÝ SIMULAČNÍ MODEL

Počítačový simulační model slouží k nasimulování chodu podvěsného dopravníku. Při jeho tvorbě bylo nezbytné dodržet veškeré rozměrové a výškové parametry okruhu a závěsu.

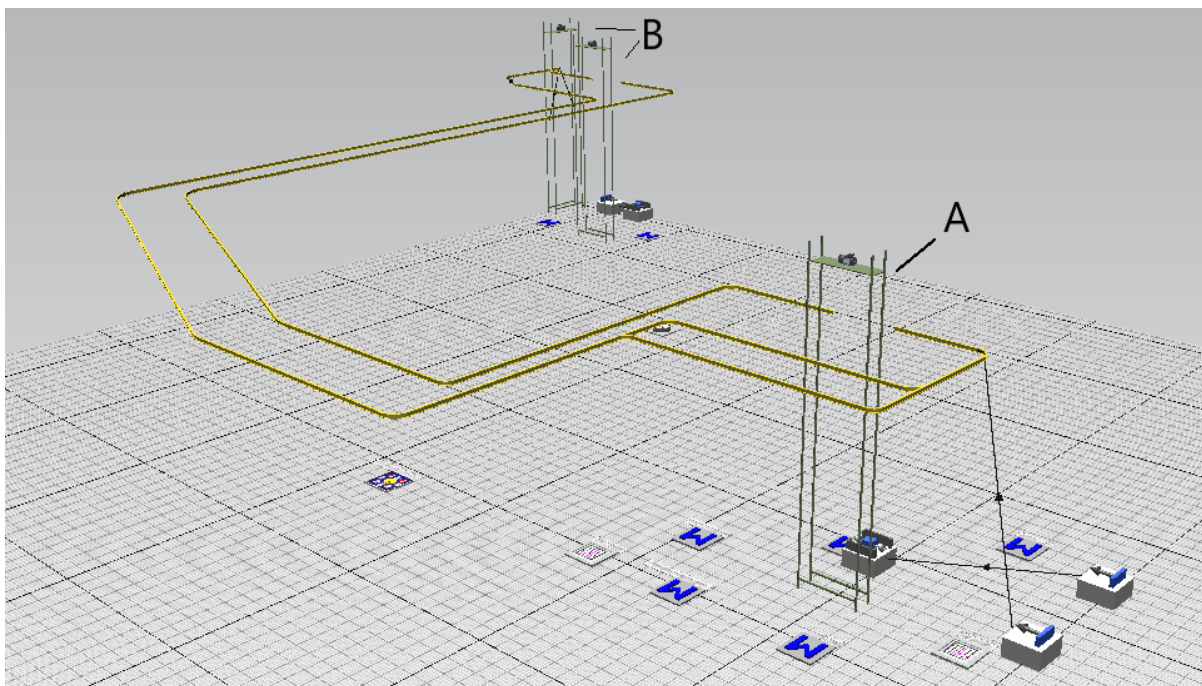
Neslouží k propagaci či reklamě, a proto nároky na celkový vizuální obraz jsou velmi nízké. V praxi se při návrhu setkáme pouze s 2D layouty. Proto byly použity vozidla jako demonstrace přepravovaných dílů a další náhrady.

#### 3.1 3D MODEL OKRUHU PRO VNĚJŠÍ POSTRANICE

Celkový okruh měří 292,97 metrů bez větve pro repasní plošinu a je veden ve výšce 8 metrů.

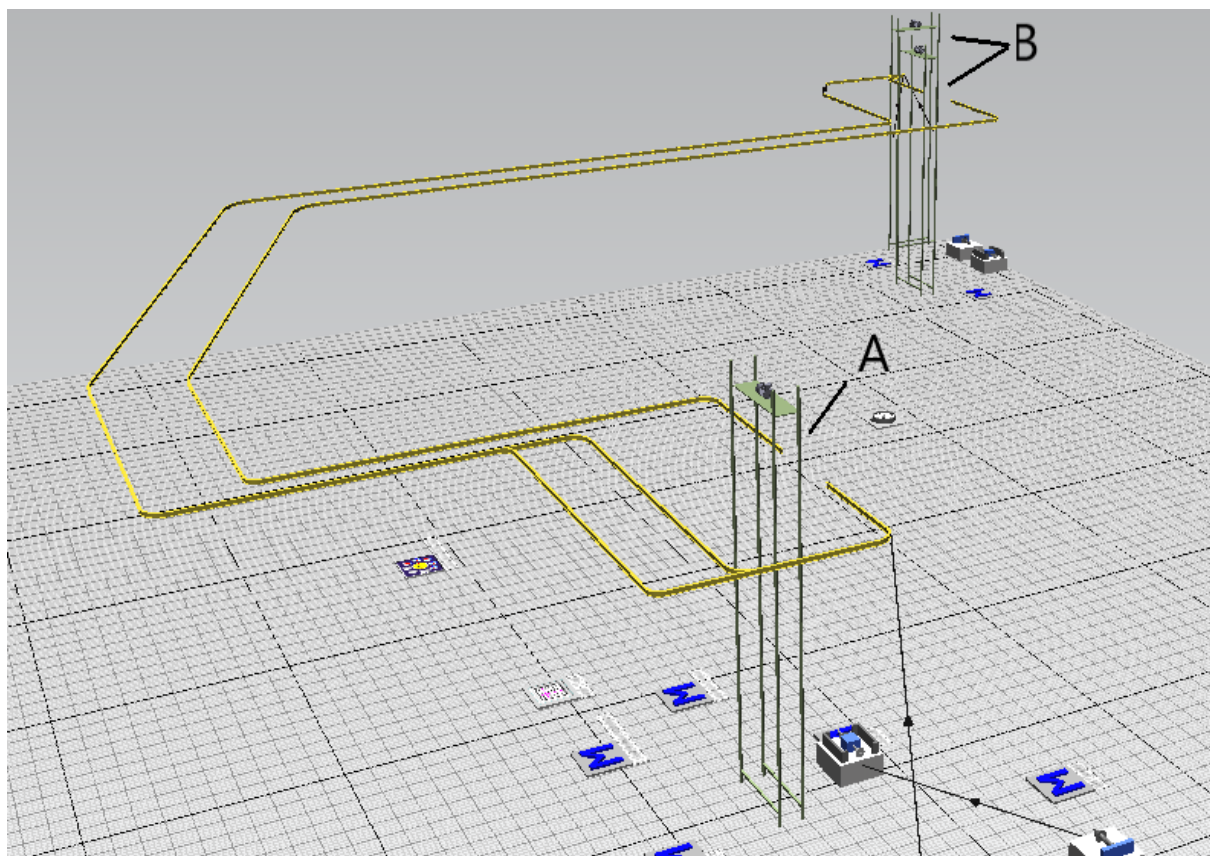


Obr. 16 Celkový pohled na okruh vnějších postranic-1 [Zdroj vlastní]



Obr. 17 Celkový pohled na okruh vnějších postranic-2 [Zdroj vlastní]

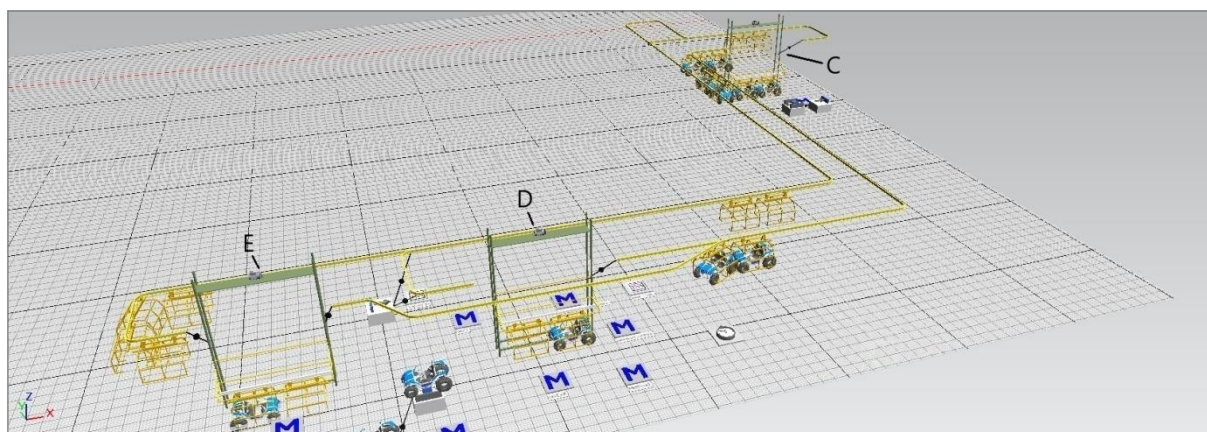




Obr. 18 Celkový pohled na okruh vnějších postranic-3 [Zdroj vlastní]

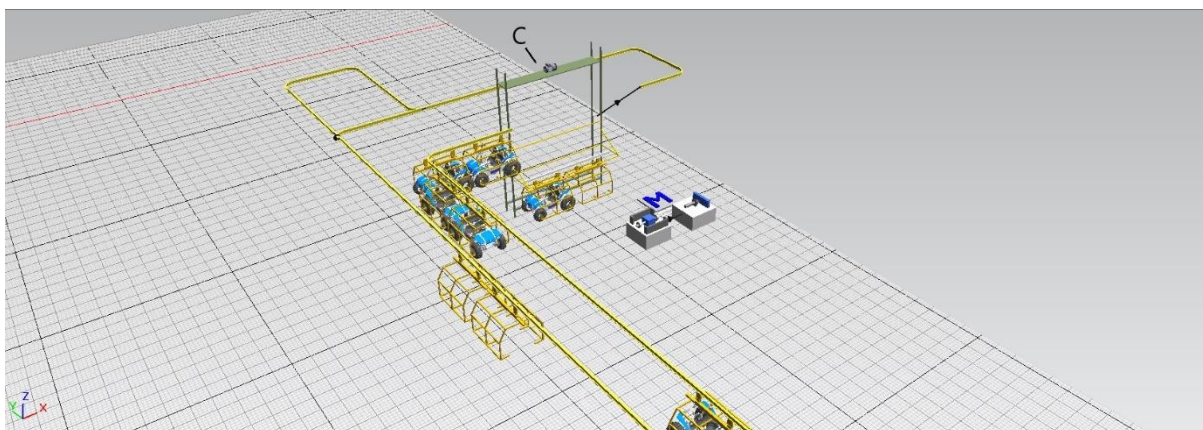
### 3.2 3D MODEL OKRUHU PRO B-SLOUPKY

Celkový okruh měří 276,93 metrů bez větve pro repasní plošinu a je veden ve výšce 7 metrů.

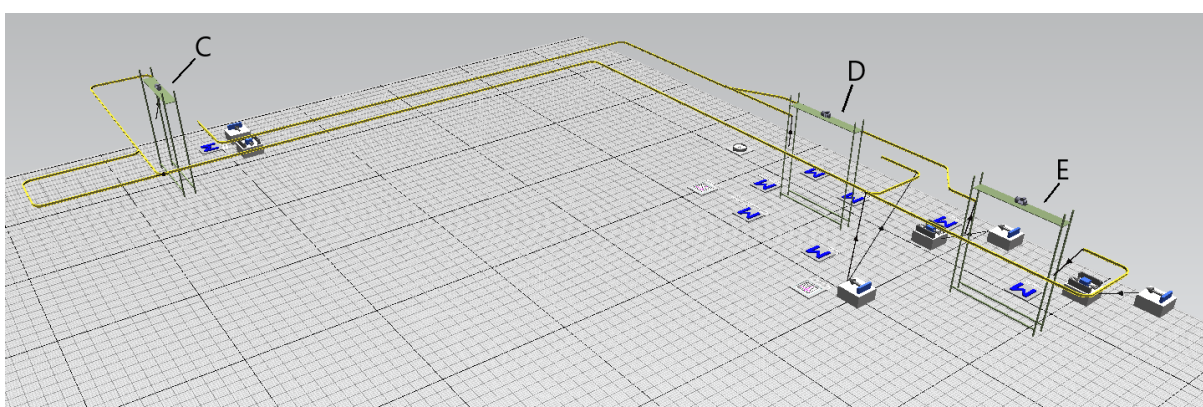


Obr. 19 Celkový pohled na okruh B-sloupků – 1 [Zdroj vlastní]





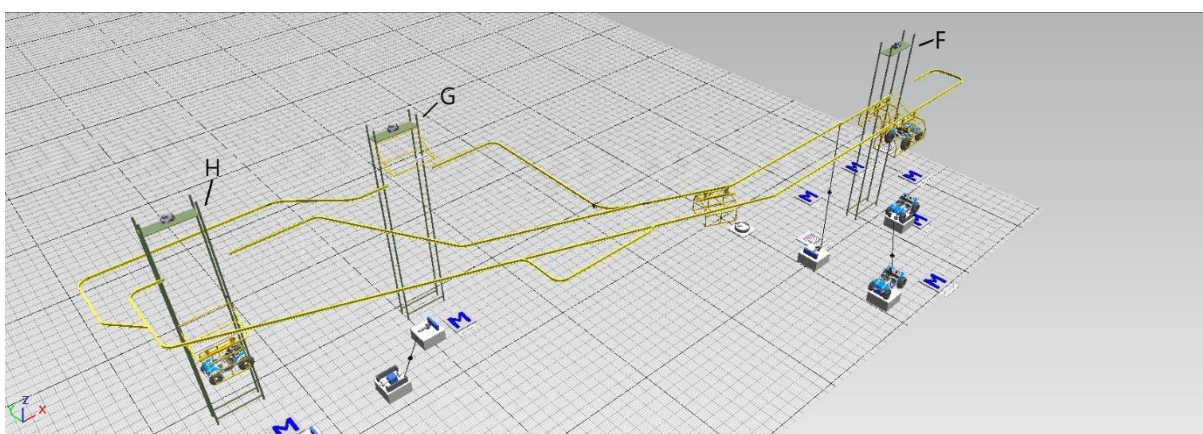
Obr. 20 Detail na vykládací zvedák okruhu pro B-sloupky [Zdroj vlastní]



Obr. 21 Celkový pohled na okruh B-sloupků – 2 [Zdroj vlastní]

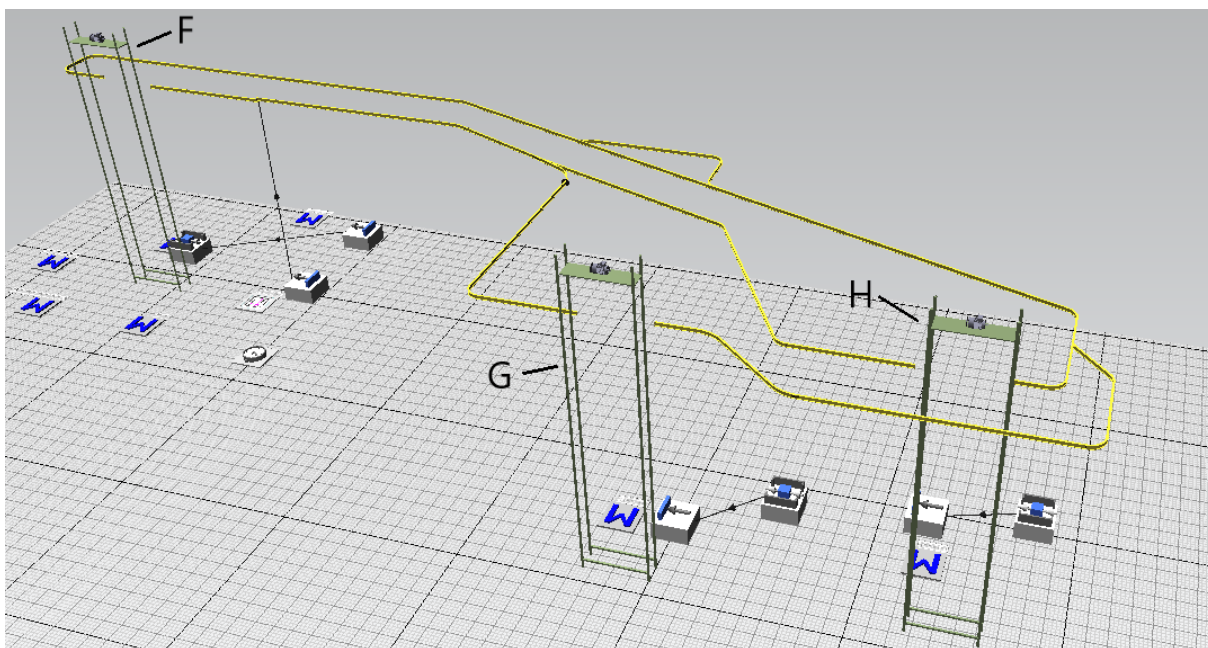
### 3.3 3D MODEL OKRUHU PRO C-SLOUPKY

Celkový okruh měří 203,04 metrů bez větve pro repasní plošinu a je veden ve výšce 9 metrů.

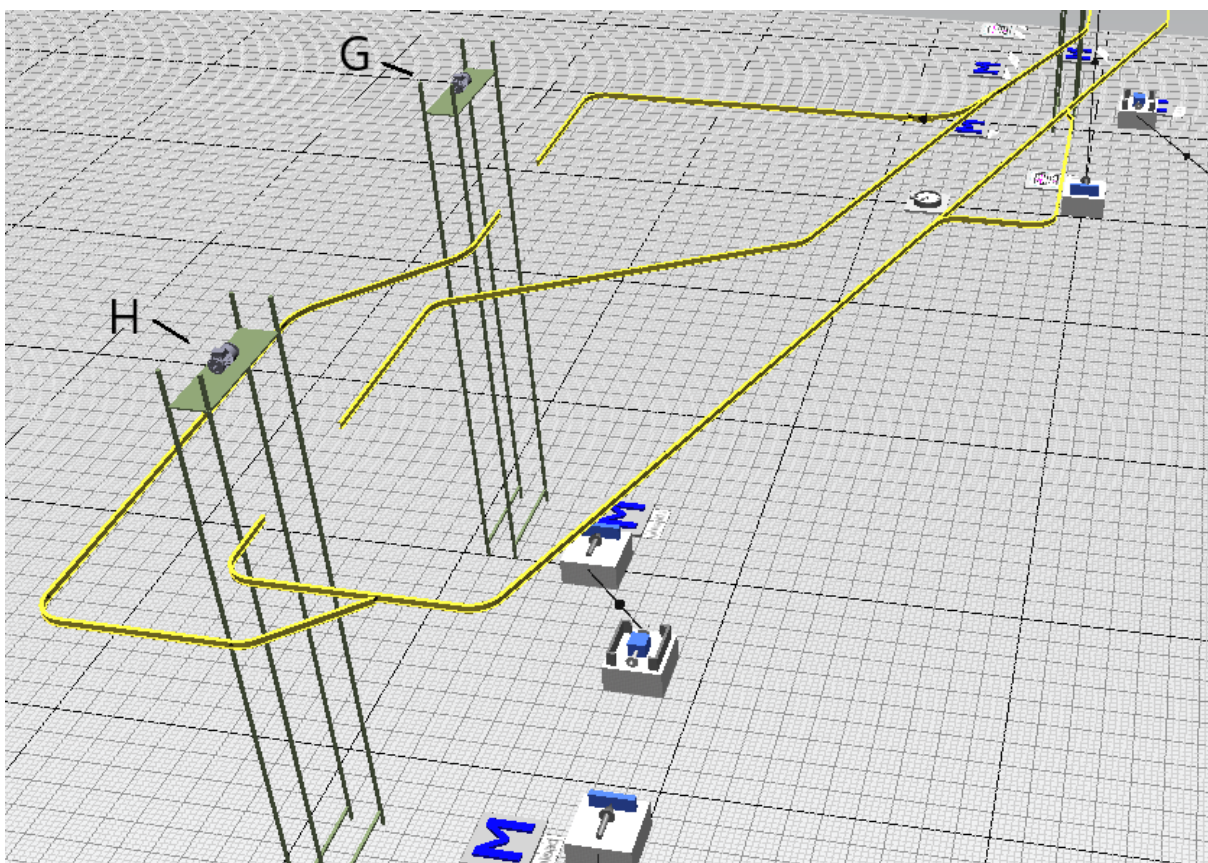


Obr. 22 Celkový pohled na okruh C-sloupků – 1 [Zdroj vlastní]





Obr. 23 Celkový pohled na okruh C-sloupků – 2 [Zdroj vlastní]



Obr. 24 Celkový pohled na okruh C-sloupků – 3 [Zdroj vlastní]

## 4 MATICE EXPERIMENTŮ

Matice experimentů slouží k přehlednému zápisu parametrů pro jednotlivé scénáře. Jde o scénáře, které se liší rychlostmi jednotlivých komponentů. Existuje dvacet variant. Hlavní slovo ve stanovení finálního poměru má vždy zákazník a bývá mu doporučen určitý počet variant.

Standartně má závěs stálou rychlost po rovných úsecích. Do zatáček a na úsecích s výškovým rozdílem se rychlost snižuje na polovinu. Parametrem, který má na celkový takt (výraz znamenající „doba cyklu“) největší vliv je ten, který logicky zabírá jeho největší část. Tímto parametrem je čas, který závěs stráví na zvedácích.

Je to zapříčiněno velkým množstvím operací, ze kterých se tato doba skládá. Jsou to najetí závěsu na zvedák, aretace závěsu v požadované poloze, sjetí závěsu do určité výšky, naložení/vyložení dílců, vyjetí závěsu nahoru, odaretování.

### 4.1 MATICE EXPERIMENTŮ PRO OKRUH VNĚJŠÍCH POSTRANIC

Tab. 2 Matice experimentů pro zvedáky A a1. v místě B [Zdroj vlastní]

Variant	Délka zvedáku [m]	Rychlost závěsu [m/s]	Čas najetí [s]	Aretace [s]	Rychlost zvedáku [m/s]	Délka spuštění [m]	Čas spuštění dolů [s]	Doba naložení/vyložení [s]	Čas vyjetí nahoru [s]	Odaretování [s]	Čas odjetí [s]	Celkový čas [s]
1	6	0,003	1666,67	2	1	5,5	5,5	7	5,5	2	1666,67	<b>3355,33</b>
2		0,005	1000,00								1000,00	<b>2022,00</b>
3		0,008	625,00								625,00	<b>1272,00</b>
4		0,013	384,62								384,62	<b>791,23</b>
5		0,016	312,50								312,50	<b>647,00</b>
6		0,021	238,10								238,10	<b>498,19</b>
7		0,026	192,31								192,31	<b>406,62</b>
8		0,033	151,52								151,52	<b>325,03</b>
9		0,042	120,19								120,19	<b>262,38</b>
10		0,053	95,24								95,24	<b>212,48</b>
11		0,067	75,08								75,08	<b>172,15</b>
12		0,083	60,00								60,00	<b>142,00</b>
13		0,105	47,62								47,62	<b>117,24</b>
14		0,133	37,50								37,50	<b>97,00</b>
15		0,167	30,00								30,00	<b>82,00</b>
16		0,208	24,00								24,00	<b>70,00</b>
17		0,267	18,75								18,75	<b>59,50</b>
18		0,333	15,00								15,00	<b>52,00</b>
19		0,417	12,00								12,00	<b>46,00</b>
20		0,542	9,23								9,23	<b>40,46</b>

Jak bylo zmíněno v technickém zadání, požadovaný Takt je 60 s. To znamená, aby v místě vykládky byl připraven dílec k odebrání každých 60 s.

Nejprve byla vytvořena matice experimentů pro zvedáky. Snaha byla nalézt optimální rychlost zvedáků tak, aby vyhovovala všem zvedákům v tomto okruhu. To by ale znamenalo, že 2. zvedák na vykládku v místě B bude představovat úzké místo v okruhu. Jelikož za dobu, než závěs ujede část úseku mezi 1. a 2. vykládacím zvedákem, už bude 1. zvedák B prázdný a připravený na další plný závěs.

Proto byla potřeba rychlost 2. zvedáku na vykládku v místě B zvýšit. A to tak, aby čas, který závěs stráví na 1. zvedáku B se rovnala času stráveném na 2. zvedáku B plus doba přejetí vzdálenosti mezi nimi.

Tab. 3 Doba ujetí závěsu mezi 1. a 2. vykládacím zvedákem [Zdroj vlastní]

Varianta	Rychlost závěsu [m/s]	Vzdálenost mezi zvedáky B a C [m]	Čas ujetí [s]
1	0,003	5,9	1966,67
2	0,005		1180,00
3	0,008		737,50
4	0,013		453,85
5	0,016		368,75
6	0,021		280,95
7	0,026		226,92
8	0,033		178,79
9	0,042		141,83
10	0,053		112,38
11	0,067		88,59
12	0,083		70,80
13	0,105		56,19
14	0,133		44,25
15	0,167		35,40
16	0,208		28,32
17	0,267		22,13
18	0,333		17,70
19	0,417		14,16
20	0,542		10,89



Nyní je potřeba sestavit matici experimentů pro 2. zvedák v místě B. Je nutno brát ohled na dobu jízdy mezi 1. a 2. vykládacím zvedákem, proto přichází v úvahu pouze rychlostí z posledních 3 experimentů.

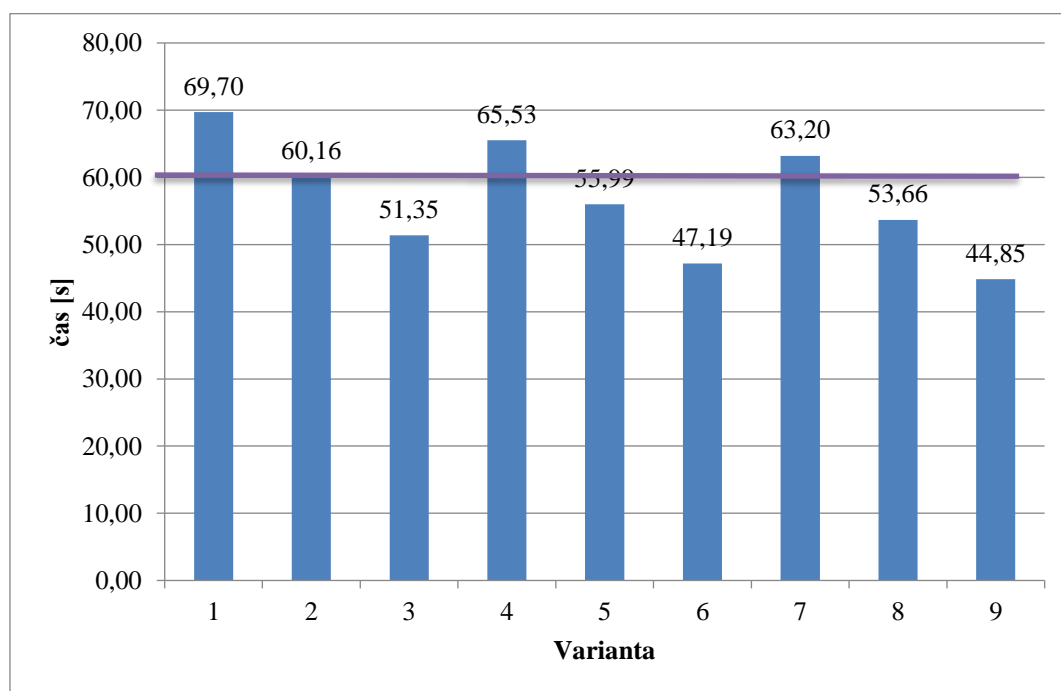
Tab. 4 Matice experimentů pro 2. zvedák v místě B [Zdroj vlastní]

Celkový čas [s]	52,00
Čas odjetí [s]	15,00
Odaretování [s]	2
Čas vyjetí nahoru [s]	5,50
Doba naložení/vyložení [s]	7
Čas spuštění dolů [s]	5,50
Délka spuštění [m]	5,5
Rychlost zvedáku [m/s]	1
Aretace [s]	2
Čas najetí [s]	15,00
Rychlost závěsu [m/s]	0,333
Délka zvedáku [m]	6
Variananta	1
2	
3	
4	
5	
6	
7	
8	
9	

Následně byl sečten čas přejezdu závěsu mezi 1. a 2. vykládacím zvedákem s časem stráveným na 2. zvedáku.

Tab. 5 Doba přejetí mezi 1. a 2. vykládacím zvedákem a doba vykládky na 2. zvedáku [Zdroj vlastní]

Varianta	Celkový čas na zvedáku C [s]	Varianta ujetí mezi A a B	Varianta ujetí mezi A a B [s]	Celkový čas [s]
1	52,00	18	17,70	69,70
2	46,00	19	14,16	60,16
3	40,46	20	10,89	51,35
4	47,83	18	17,70	65,53
5	41,83	19	14,16	55,99
6	36,29	20	10,89	47,19
7	45,50	18	17,70	63,20
8	39,50	19	14,16	53,66
9	33,96	20	10,89	44,85



Graf 1 Doba přejetí mezi vykládacími zvedáky včetně doby 2. vykládky [Zdroj vlastní]

V tuto chvíli jsou zřejmé kombinace rychlostí, které přicházejí v úvahu. Tato data byla předložena zákazníkovi a ten by si vybral kombinaci, dle dodatečných kritérií. Osobně bych se přimlouval pro variantu č. 5. Celkový její Takt je necelých 56 sekund. To je ideální čas se 4sekundovou rezervou pro případné snížení taktu celého okruhu.

Varianty s nižším časem nebyly vybrány proto, že mají velkou vyčkávací dobu – doba do požadovaných 60 s.

**Byla zvolena varianta 5:**

Rychlost závěsu:	0,417 m/s
Aretace:	1,75 s
Rychlost zvedáku:	1,5 m/s
Doba vyložení:	7,0 s
Odaretování:	1,75 s
Čas najetí/odjetí:	12,0 s

#### 4.1.1 VOLBA POČTU ZÁVĚSŮ PRO OKRUH VNĚJŠÍCH POSTRANIC

Těchto 56 sekund ovšem není čas, za který se dílec dostane z místa A do místa B. Aby okruh fungoval správně, potřebuje tzv. rozjezdovou dobu. To je doba, během které funguje nakládací zvedák, ale nefunguje vykládací zvedák. Během této rozjezdové doby dojde k nashromáždění naplněných závěsů před vykládací zvedák B.

Jakmile se přejde do normálního režimu – tedy bude fungovat jak nakládací, tak vykládací zvedák, bude docházet k tomu, že naplněné závěsy budou doplňovat toto naskladněné množství závěsů.

Je ovšem potřeba dostatečný počet závěsů, aby byla zajištěna neustálá nakládka a vykládka dílců. Tento potřebný počet závěsů zjistíme jednoduše. Jakmile naplněný závěs opustí nakládací zvedák, je nutné, aby za dobu 56 sekund nahradil pozici posledního nashromážděného závěsu.

Za dobu 56 sekund ujede (čas · rychlost):

$$56 \cdot 0,417 = 23,325 \text{ m}$$

Od délky mezi A a B (129,48 m) odečteme 23,325 metrů. Tato vzdálenost musí být zaplněna plnými závěsy:

$$129,48 - 23,325 = 106,16 \text{ m}$$

Délka jednoho závěsu jsou 4 metry, proto v této části je jich potřeba:

$$106,16 : 4 = 26,54 \rightarrow 27 \text{ závěsů}$$

Vzdálenost mezi B a A je 150,49 metrů. Proto s přičtením 10 sekund strávených na otočném stole dostaneme dobu přejezdu od B do A:

$$(150,49:0,417) + 10 = 370,89 \text{ s}$$

Po tuto dobu se musí před nakládacím zvedákem nacházet závěsy. Jelikož je čas nakládky 46,0 s, potom zde musí být:

$$370,89:46,0 = 8,06 \rightarrow 9 \text{ závěsů}$$

#### 4.1.2 ZÁVĚR PRO OKRUH VNĚJŠÍCH POSTRANIC

Pro tento okruh podvěsných dopravníků přepravující vnější postranice typu SK 280 byla doporučena rychlost závěsů 25 m/s. Tato rychlost je po celém okruhu neměnná. Požadovaná doba cyklu, teda doba, po které musí být nachystán díl k vykládce z dopravníku, je 60 sekund. Mnou doporučené časy strávených na jednotlivých zvedácích jsou vždy nižší.

Zbylou dobu taktu bude dílec setrvávat na své aktuální pozici. To je z důvodu možného snížení taktu.

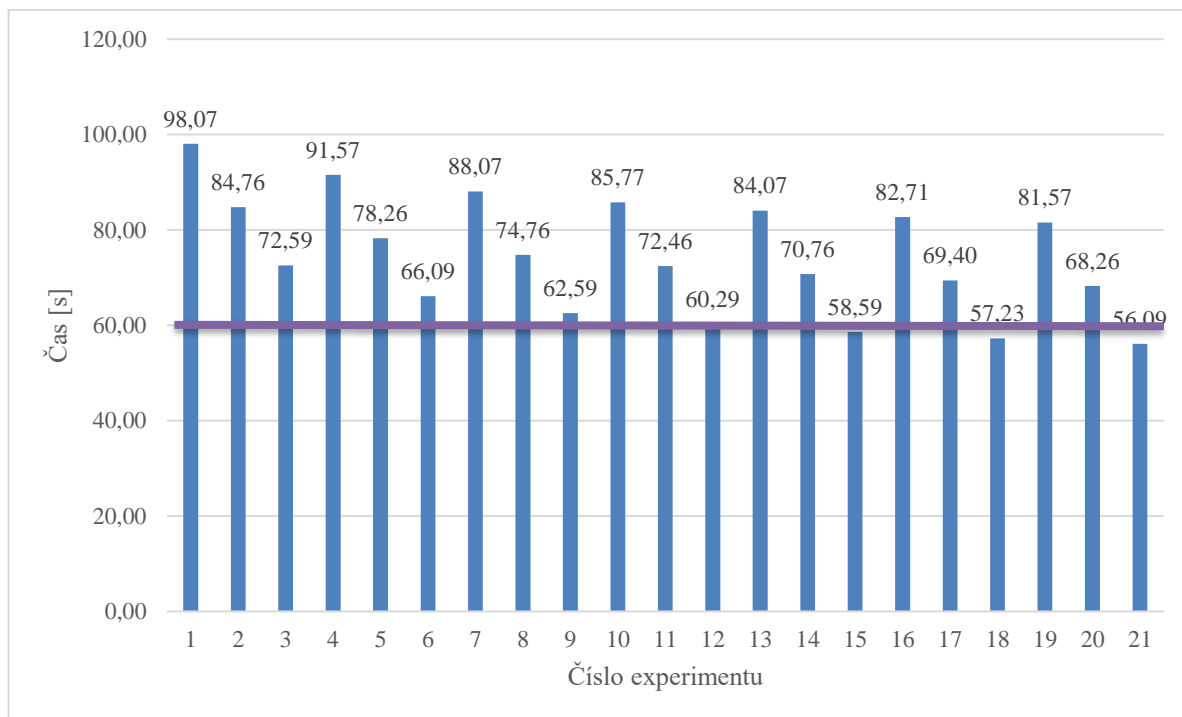
Celkový minimální počet závěsu zajišťujících hladký chod dopravníku je součet minimálního počtu závěsů před nakládkou (9) a vykládkou (27). Tedy 36. Cílem ale bylo nalezení ideálního počtu závěsů. Ideální počet závěsů byl stanoven na 40. Tuto hodnotu jsme získali ze simulačního modelu.

Je důležité dbát na rovnost časů na stanici nakládky a vykládky. Pokud by časy byly různé, byla by ohrožena plynulost provozu. Některý úsek by se mohl přecpávat, nebo naopak by některé závěsy nemusely stíhat dojíždět. Toto platí obecně.

## 4.2 MATICE EXPERIMENTŮ PRO OKRUH B-SLOUPKŮ

Tab. 6 Matice experimentů pro zvedák v místě C [Zdroj vlastní]

Variantá	Délka zvedáku [m]	Rychlost závěsu [m/s]	Čas najetí [s]	Aretace [s]	Rychlost zvedáku [m/s]	Délka spuštění [m]	Čas spuštění dolů [s]	Doba naložení/vyložení [s]	Čas vyjetí nahoru [s]	Odaretování [s]	Čas odjetí [s]	Celkový čas [s]
1	11	0,33	33,03	2,00	0,50	4,50	9,00	10,00	9,00	2,00	33,03	98,07
2		0,42	26,38				9,00		9,00	2,00	26,38	84,76
3		0,54	20,30				9,00		9,00	2,00	20,30	72,59
4		0,33	33,03	1,75	0,75		6,00		6,00	1,75	33,03	91,57
5		0,42	26,38				6,00		6,00	1,75	26,38	78,26
6		0,54	20,30				6,00		6,00	1,75	20,30	66,09
7		0,33	33,03	1,50	1,00		4,50		4,50	1,50	33,03	88,07
8		0,42	26,38				4,50		4,50	1,50	26,38	74,76
9		0,54	20,30				4,50		4,50	1,50	20,30	62,59
10		0,33	33,03	1,25	1,25		3,60		3,60	1,25	33,03	85,77
11		0,42	26,38				3,60		3,60	1,25	26,38	72,46
12		0,54	20,30				3,60		3,60	1,25	20,30	60,29
13		0,33	33,03	1,00	1,50		3,00		3,00	1,00	33,03	84,07
14		0,42	26,38				3,00		3,00	1,00	26,38	70,76
15		0,54	20,30				3,00		3,00	1,00	20,30	58,59
16		0,33	33,03	0,75	1,75		2,57		2,57	0,75	33,03	82,71
17		0,42	26,38				2,57		2,57	0,75	26,38	69,40
18		0,54	20,30				2,57		2,57	0,75	20,30	57,23
19		0,33	33,03	0,50	2,00		2,25		2,25	0,50	33,03	81,57
20		0,42	26,38				2,25		2,25	0,50	26,38	68,26
21		0,54	20,30				2,25		2,25	0,50	20,30	56,09



Graf 2 Doba vykládky na zvedáku v místě C [Zdroj vlastní]

Po předchozí zkušenosti bylo zjištěno, že při zadaném Taktu přichází v úvahu pouze 3 nejvyšší rychlosti. V čase najetí byl zahrnut pojezd obou dvou závěsů zároveň. Rychlosti byly převzaty z tabulky doporučených rychlostí.

Z matice experimentů vyplývá, že rychlost závěsu musí být stanovena nejvyšší doporučená, tedy  $0,54 \text{ m/s}$ .

Doba sjetí i vyjetí zvedáku je stejná z důvodu stanovení pevné rychlosti. Aby motor zvedáku nebyl příliš přetěžován při jízdě vzhůru, vhodnější bude zvolit nižší rychlost zvedáku.

#### Proto byla zvolena varianta 18:

Rychlost závěsu:	0,54 m/s
Aretace:	0,75 s
Rychlost zvedáku:	1,75 m/s
Doba vyložení:	10,0 s
Odaretování:	0,75 s
Čas najetí/odjetí:	20,30 s

Varianta 18 splňuje požadovaný takt 60 sekund, má nejnížší přijatelnou rychlost zvedáku stejně tak jako dobu aretace. Jelikož na nakládku je dvakrát více zvedáků, tak mohou pracovat na nižších rychlostech. Jejich doba nakládky může být tudíž dvojnásobná.

Tab. 7 Matice experimentů pro nakládací zvedáky D a E [Zdroj vlastní]

Celkový čas [s]	103,74
Čas odjetí [s]	20,37
Odaretování [s]	2
Čas vyjetí nahoru [s]	22,5
Doba naložení [s]	14
Čas spuštění dolů [s]	22,50
Délka spuštění [m]	4,5
Rychlost zvedáku [m/s]	0,2
Aretace [s]	2
Čas najetí [s]	20,37
Rychlost závěsu [m/s]	0,54
Délka zvedáku [m]	11
Varianta	1
2	
3	
4	
5	
6	
7	
8	
9	
10	
11	
12	
13	
14	
15	
16	
17	
18	
19	
20	
21	
22	
23	
24	
25	
26	
27	
28	
29	
30	
31	
32	

Nejvhodnější varianta má číslo 25. Vychází v ní čas blízký požadovaným 120 sekundám. Je v ní obsažena i necelá 15sekundová rezerva.

**Byla zvolena varianta 25.**

Rychlost závěsu:	0,54 m/s
Aretace:	3,25 s
Rychlost zvedáku:	0,2 m/s
Doba naložení:	14,0 s
Odaretování:	3,25 s
Čas najetí/odjetí:	20,37 s

**4.2.1 VOLBA POČTU ZÁVĚSŮ PRO OKRUH B-SLOUPKŮ**

Nyní platí stejné podmínky jako u okruhu pro vnější bočnice. Aby okruh fungoval správně, potřebuje tzv. rozjezdovou dobu. Během této rozjezdové doby dojde k nashromáždění naplněných závěsů před vykládací zvedák C.

Je ovšem potřeba dostatečný počet závěsů, aby byla zajištěna neustálá nakládka a vykládka dílců. Jakmile naplněný závěs opustí nakládací zvedák, je nutné, aby za dobu 57,23 sekund nahradil pozici posledního nashromážděného závěsu.

Za dobu 57,23 sekund ujede (čas · rychlost):

$$57,23 \cdot 0,54 = 30,904 \text{ m}$$

Od délky mezi E a C (133,09 m) odečteme 30,904 metrů. Tato vzdálenost musí být zaplněná plnými závěsy:

$$133,09 - 30,904 = 102,18 \text{ m}$$

Délka jednoho závěsu jsou 4 metry, proto v této části je jich potřeba:

$$102,18 : 4 = 25,5495 \rightarrow 26 \text{ závěsů}$$

Vzdálenost mezi C a E je 133,09 metrů. Proto dostaneme dobu přejezdu od C do E:

$$133,09 : 0,54 = 246,46 \text{ s}$$

Po tuto dobu se musí před nakládacím zvedákem nacházet dvojice závěsů. Jelikož je čas nakládky 116,24 s, potom zde musí být:

$$246,46 : 116,24 = 2,12 \rightarrow 3 \text{ závěsy}$$

Jelikož 1 nakládka naloží 2 závěsy, potom počet pro každou nakládací stanici je 6závěsů.



Nakládací stanice jsou 2, proto je zde potřeba alespoň 12 prázdných závěsů.

Nakládací stanice E má vždy přednost plnění, jelikož nemůže dojít k přeplnění prázdných závěsů před stanicí D. Tím by došlo k zablokování výhybky a nebylo by možné přepravit prázdné závěsy do nakládací stanice E. Tím by byl porušen celý chod okruhu a mohlo by dojít k nedosažení Taktu.

#### 4.2.2 ZÁVĚR PRO OKRUH B-SLOUPKŮ

Pro tento okruh podvěsných dopravníků přepravující B-sloupky typu SK 280 byla doporučena rychlost závěsů 0,54 m/s. Tato rychlost je po celém okruhu neměnná. Požadovaná doba cyklu, tedy doba, po které musí být nachystán díl k vykládce z dopravníku, je 30 sekund. Tento okruh ovšem nedodává 1 dílec za 30 sekund, ale 2 dílce za 57,23 s. S tím souvisí i práce vykládacího robotu. Robot vyloží jeden dílec na příslušné místo a ihned nabere druhý dílec, který ovšem drží po dobu 30 sekund. Po této době dílec umístí na požadované místo. Za dalších necelých 30 sekund dorazí další dvojice závěsů s dílci. Tato práce robotu se opakuje

I zde je brána v potaz určitá časová rezerva. Zbylou dobu Taktu bude dílec setrvávat na své aktuální pozici.

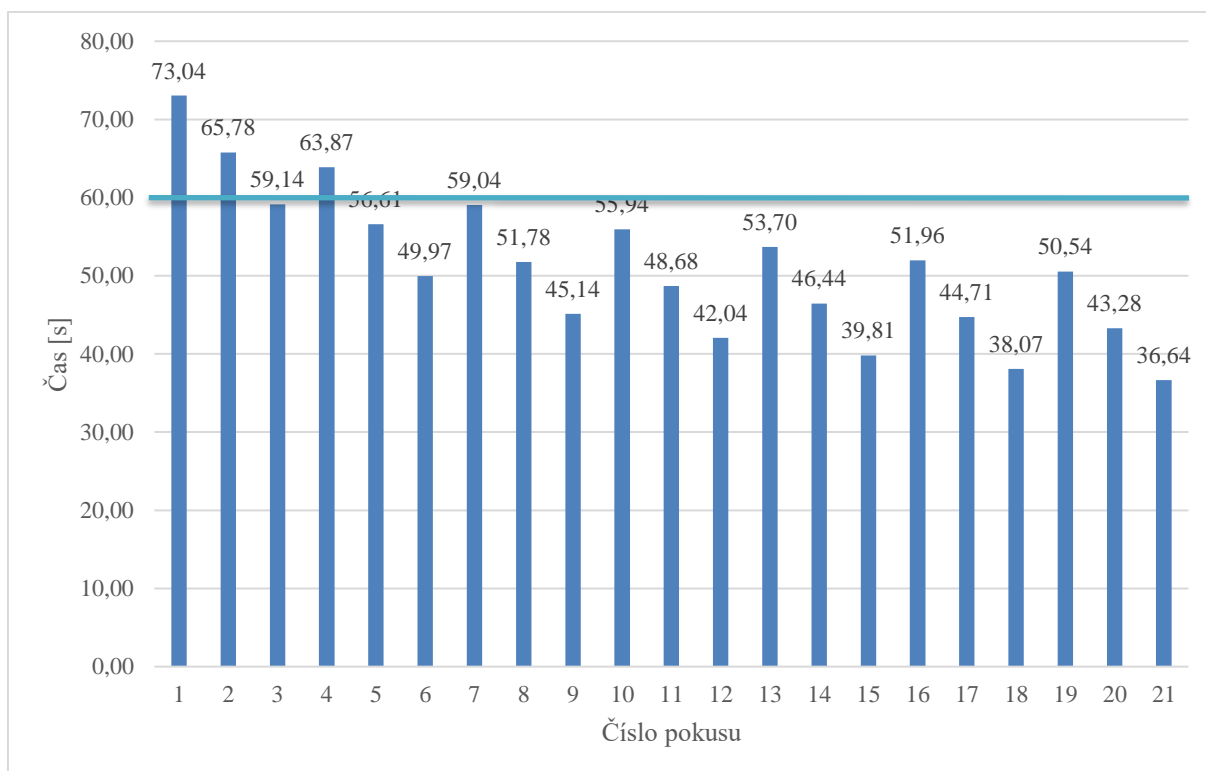
Celkový nezbytný počet závěsů zajišťujících hladký chod dopravníku je 38. Vyplyvá to ze součtu prázdných závěsů před nakládkou a plných před vykládkou. Ideální počet závěsů byl odečten ze simulačního modelu - 42.

### 4.3 MATICE EXPERIMENTŮ PRO OKRUH C-SLOUPKŮ

Při sestavování matice experimentů pro okruh podvěsných dopravníků přepravující C-sloupky typu SK 280 můžeme využít poznatků z předchozího okruhu. Máme zde stejný problém. Je zde jedna nakládací stanice a dvě vykládací. U okruhu pro B-sloupky to bylo obráceně, ale princip je stejný. Takt zde máme 60 sekund, čili nemusíme rozšiřovat zvedáky a provádět nakládku a vykládku 2 závěsů zároveň.

Můžeme zde uplatnit podobnou matici experimentů pro nakládku na zvedáku v místě F, jako byla u vykládacího zvedáku v okruhu pro B-sloupky. Změní se zde doba nakládání/vykládání, jelikož nyní musíme naložit pouze jeden dílec při jedom sjetí zvedáku. Doba najetí/odjetí závěsu, jelikož je zvedák kratší. Výška, ze které je závěs spuštěn.

Tab. 8 Matice experimentů pro nakládací zvedák v místě F [Zdroj vlastní]



*Graf 3 Doba nakládky na zvedáku v místě F [Zdroj vlastní]*

Zde máme opět na výběr více variant nastavení zvedáku. Cílem bylo zvolit nastavení tak, aby dosahovalo maximálně 60 sekund. Osobně bych se přiklonil k variantě 10. Je zde zahrnuta nejnižší rychlost závěsu, ne příliš vysoká rychlost zvedáku a doba aretace je dostatečná. Zákazník by zde měl na výběr z více možností.

**Byla zvolena varianta číslo 10:**

Rychlost závěsu:	0,33 m/s
Aretace:	1,25 s
Rychlost zvedáku:	1,25 m/s
Doba vyložení:	7,0 s
Odaretování:	1,25 s
Čas najetí/odjetí:	18,02 s

Tab. 9 Matice experimentů pro vykládací zvedáky G a H [Zdroj vlastní]

Celkový čas [s]	149,67
Čas odjetí [s]	33,33
Odaretování [s]	2
Čas vyjetí nahoru [s]	32,5
Doba vyložení [s]	14
Čas spuštění dolů [s]	32,5
Délka spuštění [m]	6,5
Rychlost zvedáku [m/s]	0,2
Aretace [s]	2
Čas najetí [s]	33,33
Rychlost závěsu [m/s]	0,33
Délka zvedáku [m]	6
Varianta	1
2	2
3	2
4	2
5	2
6	2
7	2
8	2
9	2,5
10	2,5
11	2,5
12	2,5
13	2,5
14	2,5
15	2,5
16	2,5
17	2,5
18	3
19	3
20	3
21	3
22	3
23	3
24	3
25	3,25
26	3,25
27	3,25
28	3,25
29	3,25
30	3,25
31	3,25
32	3,25

Tato matice experimentů byla vytvořena pro 2 vykládací zvedáky v místech G a H. Jelikož budou vykládat shodný díl a Takt tohoto okruhu je 60 sekund – tedy vyložit jeden díl za 60 sekund. Z toho vyplývá, že při využití obou dvou vykládacích stanic, musí každá stanice vyložit jeden díl za 120 sekund. Proto byl hledán cyklus s čas méně než 120 sekund.

Nejpříznivější je varianta číslo 20 a 28. Mají stejnou rychlost. Líší se pouze v době aretace. Optimální doba pro aretaci jsou 2 sekundy, proto volím tu variantu, která se se svou dobou aretování a odaretování více blíží.

#### Byla zvolena varianta číslo 20.

Rychlost závěsu:	0,33 m/s
Aretace:	3 s
Rychlost zvedáku:	0,5 m/s
Doba vyložení:	17 s
Odaretování:	3 s
Čas najetí/odjetí:	33,33 s

#### 4.3.1 VOLBA POČTU ZÁVĚSŮ PRO OKRUH C-SLOUPKŮ

Nyní je opět potřeba určit stejným způsobem počet závěsů, který bude zajišťovat hladký chod okruhu.

Je ovšem potřeba dostatečný počet závěsů, aby byla zajištěna neustálá nakládka a vykládka dílců. Jakmile naplněný závěs opustí nakládací zvedák, je nutné, aby za dobu 55,94 sekund nahradil pozici posledního nashromážděného závěsu.

Za dobu 55,94 sekund ujede:

$$55,94 \cdot 0,33 = 18,460 \text{ m}$$

Od délky mezi F a G (105,55 m) odečteme 18,460 metrů. Tato vzdálenost musí být zaplněna plnými závěsy:

$$105,55 - 18,460 = 87,09 \text{ m}$$

Délka jednoho závěsu jsou 4 metry, proto v této části je jich potřeba:

$$87,09 : 4 = 21,77 \rightarrow 22 \text{ závěsů}$$

Vzdálenost mezi G a F je 43,64 metrů. Proto dostaneme dobu přejezdu od G do F:

$$43,64 : 0,33 = 132,24 \text{ s}$$

Po tuto dobu se musí před nakládacím zvedákem nacházet prázdné závěsy. Jelikož je čas nakládky 55,94 s, potom zde musí být:

$$132,24 : 55,94 = 2,36 \rightarrow 3 \text{ závěsy}$$

#### 4.3.2 ZÁVĚR PRO OKRUH C-SLOUPKŮ

Pro tento okruh podvěsných dopravníků přepravující vnější postranice typu SK 280 byla doporučena rychlost závěsů 0,33 m/s. Tato rychlost je po celém okruhu neměnná. Požadovaná doba cyklu, teda doba, po které musí být nachystán 1 díl k vykládce z dopravníku je 60 sekund. Mnou doporučené časy strávených na jednotlivých zvedácích jsou vždy nižší.

Zbylou dobu Taktu bude dílec setrvávat na své aktuální pozici. To je z důvodu možnosti snížení Taktu.

Celkový minimální počet závěsů zajišťujících hladký chod dopravníku je 25. Optimální počet byl zjištěn ze simulačního modelu – 27.

## ZÁVĚR

Cílem mé bakalářské práce byl návrh konceptu v podobě layoutu znázorňujícího umístění podvěsného dopravníku, a to včetně návrhu konceptu řízení systému s ohledem na zadané rozměry přepravovaných dílů.

Byly navrženy 3 odlišné, na sobě nezávislé, okruhy podvěsných dopravníků přepravující vnější postranice typu SK 280, B-sloupky typu SK 280 a C-sloupky typu SK 280 s podstavou 4,0 x 1,4 m a transportní výšku pohybující se okolo 8,0 m.

První okruh podvěsných dopravníků navrhnutý pro přepravu vnějších postranic z místa A do místa B a zpět. Překážku tvořila vzduchotechnika nacházející se ve výšce 8 m a nosné sloupy budovy. Celková délka navrženého okruhu je 292,97 m včetně větve pro repasní plošinu a je veden ve výšce 8 metrů. Rychlost závěsů je 0,417 m/s. Celkový minimální počet závěsů zajišťujících hladký chod dopravníku je součet minimálního počtu závěsů před nakládkou (9) a vykládkou (27). Tedy 36. Cílem ale bylo nalezení ideálního počtu závěsů. Ideální počet závěsů byl stanoven na 40. Tuto hodnotu jsme získali ze simulačního modelu.

Druhý okruh podvěsných dopravníků navrhnutý pro přepravu B-sloupku z míst D a E do místa C a zpět. Překážku zde tvořila vzduchotechnika, nosné sloupy budovy a 3. Okruh podvěsných dopravníků, se kterým se křížil. Toto křížení bylo vyřešeno odchýlením se od požadované výšky 8 m. Okruh přepravující B-sloupky typu SK 280 byl umístěn do výšky 7 m nad úroveň podlahy budovy. Celková délka tohoto okruhu byla stanovena na 276,93 metrů bez větve pro repasní plošinu. Rychlost závěsů je 0,54 m/s. Celkový nezbytný počet závěsů zajišťujících hladký chod dopravníku je 38. Vyplývá to ze součtu prázdných závěsů před nakládkou a plných před vykládkou. Ideální počet závěsů byl odečten ze simulačního modelu - 42.

Třetí okruh podvěsných dopravníků byl navrhnutý pro přepravu C-sloupku typu SK 280 z místa F do míst G a H. Překážku mu opět tvořila vzduchotechnika, nosné sloupy budovy a okruh podvěsných dopravníků přepravující B-sloupek typu SK 280. Křížení s tímto okruhem mělo za následek odchýlení se od požadované výšky 8m na výšku 9m. Celková délka tohoto okruhu byla stanovena na 203,04 metrů bez větve pro repasní plošinu. Závěsům byla určena rychlost 0,33 m/s která je taktéž neměnná. Celkový nezbytný počet závěsů zajišťujících hladký chod dopravníku je 25. Vyplývá to ze součtu prázdných závěsů před nakládkou a plných před vykládkou. Ideální počet závěsů byl získán ze simulačního modelu - 27.

Obecně koncepční návrhy jsou lidským výtvozem a každý tak může být odlišný, i když jsou vypracovány na stejné zadání. Záleží na člověku, který tento návrh vypracovává. Nelze však opomenout zákazníka, či zadavatele projektu. Ten má ve výběru finálního návrhu hlavní slovo.

## POUŽITÉ INFORMAČNÍ ZDROJE

- [1] DAŠEK, Miroslav, František JEŘÁBEK a Jiří BAAR. *Závěsné řetězové dopravníky*. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1964. Dostupné také z: <http://www.digitalniknihovna.cz/mzk/uuid/uuid:a4ae64d0-f04d-11e7-8226-005056827e52>
- [2] VÁŇA, Milan. *Podvěsné dopravníky: Conflex– lehkýdvoudráhový prostorový dopravník, PD-S 2 - přímý řetězový dopravník*. Prostějov: Výzkumný ústav oděvní, 1967. *Manipulace s materiálem*.
- [3] CHROPYŇSKÁ STROJÍRNA, A. S. *Conveyors*. Chropyně, 2018.
- [4] CIESLAR, Martin. *Leicht EHB technische Beschreibung*. Chropyně, 2018.
- [5] DZCVB44, ŠKODA AUTO a.s. *EHB layout*. Mladá Boleslav, 2012.
- [6] ŠKODA AUTO A.S., *TZ\_II tech spec\_2 funkční popis*. Mladá Boleslav, 2012.
- [7] POWER AND FREE CONVEYORS. *ULTIMATION* [online]. Michigan: UltimationIndustries, 2018 [cit. 2020-02-20]. Dostupné z: <https://www.ultimationinc.com/>
- [8] *Electrifiedmonorailsystem. Automaticsystems, Inc* [online]. [cit. 2020-04-04]. Dostupné z: <https://www.asi.com/ems-electrified-monorail-system/>



## SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ

CPU	Centrální procesová jednotka
EHB	Elektrický podvěsný dopravník
m	metr
min	minuta
s	sekunda